

## X. プラズマ研究グループ

教授	今井 剛、中嶋洋輔、坂本瑞樹
准教授	吉川正志、假家 強
講師	小波蔵純子、平田真史、沼倉友晴、南龍太郎
助教	池添竜也
技術専門職員	大川和夫
シニアスタッフ	平田久子
大学院生	19名

### 共同研究者

教授	市村 真、(理工工学域)
准教授	片沼伊佐夫(理工工学域)
研究員	大木健輔、王 小龍

### 研究協力者

技術専門職員	杉山昭彦、和所保規、遠藤洋一、嶋 頼子、千勝雅之
研究支援推進員	水口正紀
大学院生	4名

### 【1】大学法人化に向けての、当該プラズマグループの研究の方針・基本理念

当プラズマ研究グループでは、平成16年度から実施された大学の法人化に伴う筑波大学の「中期計画」に則り、筑波大学が世界に広く貢献できる優れた研究成果の創出の一端を担うことを使命として、下記の様に研究の新展開を図ることを基本方針・基本理念としている。

法人化後の新制度のもと、グループ教職員学生一丸となり研究に邁進し、当該グループとして、数理物質科学研究科の中期目標・中期計画の推進はもとより、国立大学法人筑波大学第Ⅱ期中期目標・中期計画の「I 大学の教育研究等の質の向上に関する目標を達成するためにとるべき措置」の2の(2)の「研究実施体制等の整備に関する目標を達成するための措置」に、第Ⅰ期に引き続き「双方向型共同研究等の新しい取組みを積極的に支援する。」と明記されていることは、本学のプラズマ研究の歴史を拓いた当該グループとしても、その責務を重く受け止め、応分の貢献を行うことを目指すことは、法人化後の一貫した研究姿勢である。更に、これらの新たな物理究明は、コアの高温のプラズマ現象のみならず、核融合炉に必須の境界プラズマ研究に展開し、また、自ら開発した高電力ジャイロトロンを用いて、イオン閉じ込め電位、電子・イオン温度の上昇に加えて、境界/ダイバータプラズマの制御につながる成果を得ている。

また、上記「筑波大学 中期計画」等に基づき、平成16年度から新たに立ち上った双方向型共同研究の枠組みを背景に、第Ⅱ期中期計画においても、核融合科学研究所と、筑波大学、京都大学、大阪大学、九州大学の4大学を中心に、近年新たに加わった東北大学、富山大学、更に講座単位の各大学との、共同研究を積極的に推進し、普遍性の高い学術成果と、それに基づく核融合実用への基盤研究を進めている。

学内にあっては、数理物質系のプラズマ研究グループ、並びにシステム情報系のグループをはじめとする連携協力研究・教育、その他の学内の関連グループとの共同研究、更には国内・国外のプラズマ研究グループとの緊密な連携・研究協力の基に、顕著な成果の創造・推進を図ることを基本理念・基本目標・基本方針に掲げ、教職員学生一丸となり、日夜努力を積み重ねている。

## 【2】プラズマ研究の研究目的と意義・位置づけ

物理学専攻のプラズマ実験グループが主体となって研究しているプラズマ研究センターでは、「プラズマ物理学、特に電位／電場によるプラズマ閉じ込めの向上並びにプラズマの高性能化に係る教育・研究」等を行うことが、中期計画・新しい筑波大学規則・規定に則した研究目的の柱である。本研究目的は、核融合実用に必要不可欠で喫緊の課題である「数億度の高性能プラズマと常温壁の両立の理工学研究」を行い、プラズマ物理・核融合研究の進展に本質的且つ普遍的な貢献を行うという、プラズマ核融合分野全体に広く役立つ、重要な位置づけを持つ。

この研究は、延いては国際熱核融合実験炉ITERの心臓部である、核融合炉心プラズマの高閉じ込めHモードや、環状型プラズマのエネルギー閉じ込めの改善で注目を集めているドリフト波などの揺動、内部輸送障壁 (ITB) の形成機構とその効果の究明、また、核融合炉の成否を決めるとも言える境界／ダイバータプラズマの制御など先端的な極めて重要な研究課題という意義・位置づけを併せ持っている。

これらの研究を具体的に推進するために、ジャイロトロンやビームプローブといった世界最先端の加熱機器や計測機器の開発研究を進めるとともに、それらを用いた研究により、上記で述べた研究課題に関する物理機構解明に不可欠な、プラズマ半径方向 (径方向) の電位分布制御、電場分布の精密な測定による輸送研究、また、端部での高熱流束によるダイバータ模擬研究が可能となり、学術普遍性の高い、極めて重要な本研究課題の更なる究明を進めている。

当プラズマグループの電位閉じ込めの研究は、インスブルックで開催された 国際連合の原子力部門である国際原子力機関 (IAEA) の「第7回プラズマ物理並びに制御核融合研究に関する国際会議」において、当研究グループが世界で初めて電位閉じ込めの有効性を実証した、先駆的実績を持つテーマであることは、斯界では広く知られており、かつて米国のサイエンス誌の表紙を筑波大学のガンマ6装置が飾ったように、先駆的な電位閉じ込め研究の成果を挙げてきた。また、最近では、電位制御の強力なツールであるミリ波帯のマイクロ波源、ジャイロトロンの開発研究も進展し、当センターのみならず、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置 (LHD) にも大きく貢献し、国際原子力機関 (IAEA) の「第23回～25回核融合エネルギー国際会議」で高く評価され、九州大学やプリンストン大学など、他大学や海外との共同研究へと発展しつつある。また、これらの成果の新展開とも言える境界プラズマの研究では、ITERの定常熱流束密度レベルを得、「第24回核融合エネルギー国際会議」等で斯界の注目を浴び、これを応用した共同研究が大きく進展しようとしている。

国際熱核融合実験炉ITERをはじめ、トカマク・ヘリカル型プラズマ閉じ込め形式をも含む、核融合実用に必要不可欠な研究課題という意義・位置づけを持った研究課題を、プラズマグループは推進し、発展・展開を見ている。すなわち、輸送障壁形成の物理機構の解明と境界プラズマ物理の解明は、核融合装置の実用的経済的なコンパクト化・高信頼化・核融合プラズマの定常制御のために、必要不可欠な研究内容であるという意義を持つばかりでなく、プラズマ特性の学術研究・応用研究という観点からも、大学の研究の在り方として最適な学術研究内容とその意義、研究規模であると位置づけられる。

これらの重要課題に対し、装置端部を持つミラー型実験装置は、電子を選択的に電子サイクロトロン加熱により高温・高速化し、ミラー端部に対しマイナスの電荷を持つ電子フローの一部を制御し、これによりプラズマ内部のプラス電荷を持つイオンの過不足による電位／電場を自在に形成・制御が可能、また、ミラー特有の端損失の制御という、「ミラーにしかできないこと、ミラーならば他形式プラズマ装置にも普遍的な物理機構解明を含めてできること」、こうしたミラー装置独自の特色を活かした研究を推進している。

## 【3】研究成果の概要

### (1) はじめに

筑波大学プラズマ研究センターでは、大学の第II期中期目標・中期計画の方針に沿って双方向型共同研究を充実し、GAMMA10/PDX装置を用いた高性能プラズマと低壁熱負荷の両立をめざして「開放端磁場と電位／電場効果を活かしたプラズマ輸送制御と境界プラズマ現象の解明研究」を進展させている。開放端プラズ

マとなるトーラス系のスクレープオフ層やダイバータ・プラズマを模擬するとともに、能動的な輸送制御で境界プラズマのさまざまな現象、物理の解明とそれを通じた熱負荷の軽減法とプラズマ壁相互作用の研究を実施している。平成25年度までに、ITERの定常熱負荷相当  $10 \text{ MW/m}^2$  以上の端損失熱流束を得、端損失プラズマ流の特性を詳細に調べるとともに、本格的なダイバータ模擬実験に向けたV字ターゲット板を持つ閉構造ダイバータ模擬モジュール (D-モジュール) の実験を開始した。水素ガスや希ガスの入射により、著しい密度の上昇と電子温度の低下を観測し、非接触プラズマ制御に向けての実験を進展させている。GAMMA10/PDX装置が、これまでにダイバータ模擬の基礎実験を担ってきた小型線形装置と比べて特徴的な点は、高磁場下の高温イオン束を制御できることにある。ダイバータ開発において最大の課題である非接触プラズマの制御に関するイオン温度依存性等のデータ取得が可能であることが特徴である。これらの模擬実験の基盤となるプラズマ生成に関して、主として用いられるICRF加熱アンテナ系やガス入射方法を工夫することにより、端損失イオン束増大の実験を進めている。

筑波大学プラズマ研究センターのもう一つの特徴である大電力ジャイロトロンに関して、14GHz から300GHzの広い周波数範囲におけるMWレベルの開発を進展させている。これまでに、九大とのセンター間連携を推進し、QUESTでの電流駆動実験に大きく貢献している。また、プリンストン大学との共同研究に関しても、着実に進展させている。GAMMA10/PDXの実験においては、大電力長パルスジャイロトロンを用いた高熱流束生成に加えて、高繰り返しパルス運転からELM熱負荷の模擬によるPWIに関するデータ取得を目指している。さらに、イオン流束等の増大と合わせて、東北大学、京都大学、九州大学との連携を進め、プラズマ照射に関する成果も期待できる。

大学の第II期中期目標・中期計画のまとめに向かう平成26年度は、より詳細な計測や物理的解釈を念頭に、各大学の研究者の多様な視点・豊富な経験と双方向型の特長を活かした研究に加え、複数のセンターが連携するネットワーク型の双方向型共同研究もさらに発展させ、核融合炉に向けた必須、かつ、緊急の課題を進展させることを本研究の目的とした。

## (2) ダイバータ模擬実験

図1は、GAMMA10/PDX西エンド部の真空容器と設置された昇降式のダイバータ模擬実験モジュール (Dモジュール) の概略図を示している。平成26年度には、直前の西プラグ/バリア部にICRFアンテナを設置し、エンド部へ流出するイオン束の増大やイオンによる熱流束の増大に着手した。図2に写真で示すように、SUS製の容器の前面から端損失プラズマ流が導入されるDモジュール内部にはV字型のターゲット板が組み込まれ、V字の角度や、後部の扉を開閉することによりモジュール内の排気速度を変えることが可能となっている。また、V字のターゲット板には、0.2mm厚のタングステン板が取り付けられており、電気ヒータにより最大300°Cまで温度を上昇させることができる。

図3に示すように、ターゲット板には、電子温度、密度計測のための多チャンネル静電プローブや多チャンネルカロリメーターが取り付けられている。また、図中に示したように、水素ガスや希ガス導入等による放射冷却や不純物輸送などの周辺プラズマを模擬したプラズマ研究やPWI研究が、制御された形で可能となっている。図4には、ガス入射時に高速カメラで観測したDモジュール内のH<sub>α</sub>線像を示した。この時、プラズマ流の上流における密度とイオン温度は、 $2 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$  と150eVである。図4(a)は、水

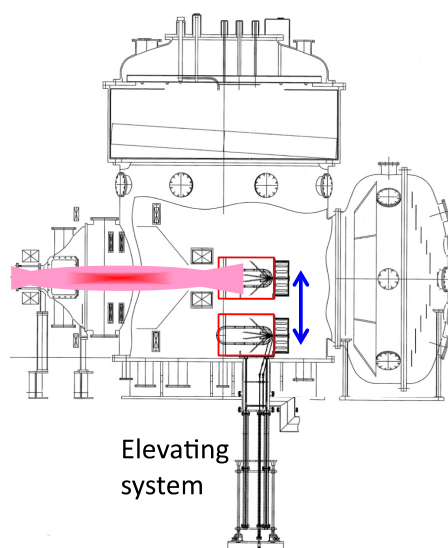


図1 GAMMA 10/PDXの西側エンド部に設置されたダイバータ模擬実験モジュール (Dモジュール) の模式図。昇降機構により、従来の配位での実験が可能である。

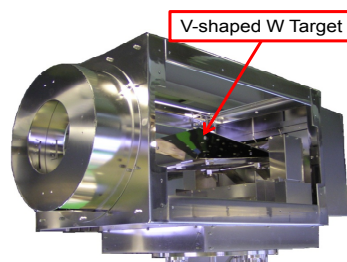


図2 Dモジュールの写真

素ガス（ガス容器圧力400mbar）のみ入射時、図4(b)は、水素ガスとキセノンガス（容器圧力1,000mbarH<sub>2</sub>、1,000mbarXe）同時入射時のものである。キセノンガス圧力増加に伴い、V字ターゲットのコーナー部のイオン束が激減し、図4(b)に示すような非接触プラズマ状態が達成されることが明らかに観測された。非接触プラズマ状態は、入射するガスの種類や圧力に強く依存することが観測されている。これまでに、非接触化の進展にともなうターゲット内の密度減少と、観測されるH<sub>α</sub>線とH<sub>β</sub>線の強度変化が異なることが観測されている。H<sub>α</sub>線のガス圧力依存性の特徴から分子活性化再結合が主な過程であることが光学的に示唆されている。

図5には、タングステンターゲット板の高温化に伴う(a)H<sub>α</sub>線強度、(b)電子温度、(c)電子密度の変化が示されている。モジュール直前のプラグ/バリア部での平均密度が図5(d)に示されており、高温化にともなう上流の密度はほとんど変化しないが、温度上昇にともなう水素リサイクリングの増大が観測されている。

これまでに引き続き、ICRF アンテナ等の改良を進め、東西両アンカー部への高周波入射とセントラル部高周波アンテナとの位相調整を含めた調整等により、エンド部への粒子束、熱流束増大を進めた結果、粒子束としては、最大で $2 \times 10^{23} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ に達している。また、ECH 入射による高熱流束実験でも  $11 \text{ MW/m}^2$  に到達している。

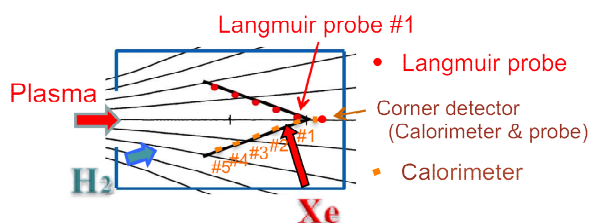


図3 Dモジュール内部のV字ターゲット内側に設置された計測器の概略

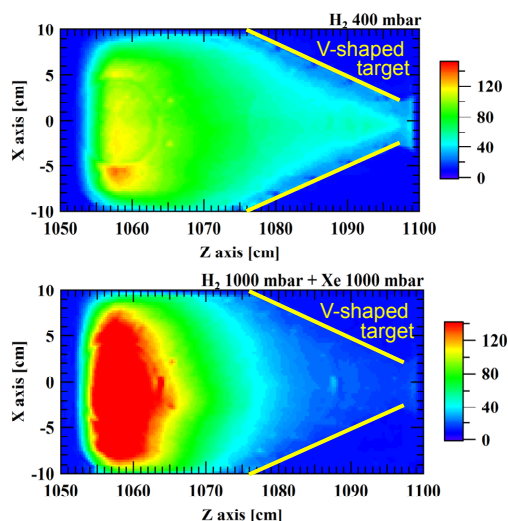


図4 高速カメラによるDモジュールターゲット板内のH<sub>α</sub>線の強度分布  
(a)水素ガスのみ入射時、(b)水素ガスとキセノンガス同時入射時

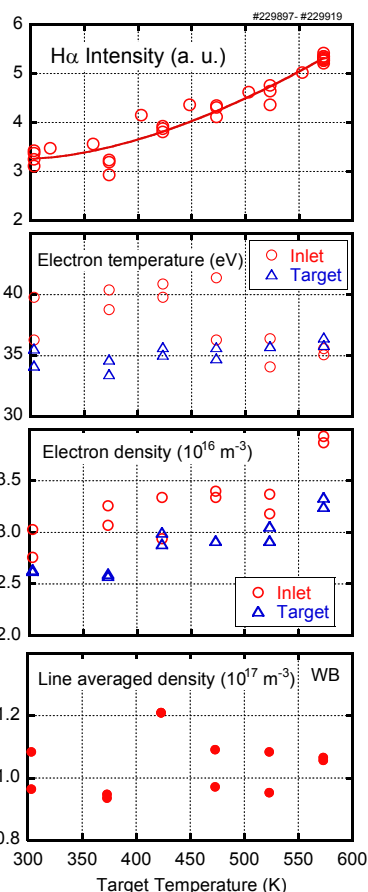


図5 ターゲット温度変化時の(a)H<sub>α</sub>線、(b)電子温度、(c)電子密度と(d)プラグ/バリア部の平均密度

### (3) マルチパストムソン散乱計測システム

平成21年度からNIFS等との共同研究を活用して導入したトムソン散乱計測システムの開発をさらに進めている。特に、エンド部におけるダイバータ模擬実験で重要な低密度、低温度の電子温度測定を高精度にすることを目指している。空間5点の多チャンネル化とポッケルセル、偏光素子と折り返しミラーを挿入したマルチパスシステムをLHD計画共同研究を活用して進展させた。図6(a)には、Rayleigh散乱実験で確認し



た10パス以上の多重化信号を示している。また、図6(b)に示したようにパス数の増大とともにその積分した強度が1パス時と比較して3.6倍に達することを確認した。さらに、エンド部のダイバータ模擬実験領域にマルチパスの2番目以降の信号を導くことにより、セントラル部とエンド部における電子密度、温度の同時計測を計画している。

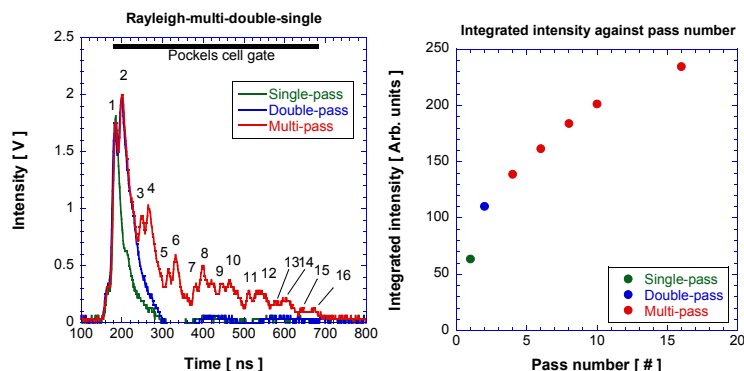


図6 (a) Rayleigh 散乱実験で確認された10パルス以上のマルチパス信号 (b) 積分強度のパス数依存性

#### (4) 大出力長パルスジャイロトロンの開発

筑波大学の大きな特徴である大電力ジャイロトロンに関しては、これまでの周波数範囲を大きく拡張し、14-300GHzの広範囲での開発に着手した。平成18年度より、核融合科学研究所と共同でLHD用77GHzジャイロトロンを開発を開始し、世界最高性能となる約1.8MW・1秒、1.9MW・0.1秒等の出力を達成している。また、154GHzの発振管の開発も進め、1.16MW、1secの発振を確認し、さらに154GHzの2号管が稼働してLHD実験に供し、77GHz管を含む5本合わせて、約5MWのパワーをLHDプラズマに入射した。より高密度での高電子温度を達成し、LHDプラズマの高性能化に大きく貢献した。

九州大学のQUEST装置への適用やGAMMA10/PDXのセントラル部中央面のサイクロトロン周波数に対応する14GHzのジャイロトロンの設計中である。また、28GHzジャイロトロンに関しては、35GHzとの2周波数発振を目的に改造を行い、設計予想と一致する発振を達成した。28GHz、2MW、3secと35GHz、1MW発振を目指して製作を進めている。さらに将来のDemo炉を想定した、300GHzジャイロトロンを開発をJAEAと共同で開始した。これまでに、筑波大学のテストスタンドにおいて、500kWレベルの発振を確認した。これらの成果をまとめたものを図7に示す。

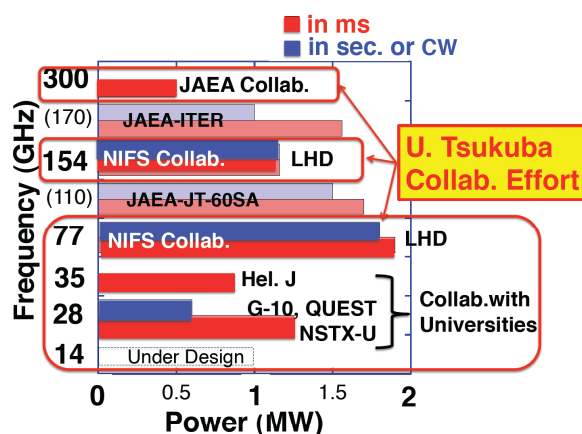


図7 MW ジャイロトロン開発の現状。筑波大学プラズマ研究センターにおいて開発されたものを赤枠で示している。

### 【4】GAMMA 10における粒子供給の最適化

#### (1) はじめに

磁場閉じ込め型の核融合プラズマ実験装置において、中性粒子輸送や水素リサイクリング・周辺プラズマ挙動観測はタンデムミラープラズマやダイバータ領域でのプラズマ挙動解明ばかりでなく、プラズマ・壁相互作用からコアプラズマの輸送に至るまでの幅広い情報・指針を与える重要な研究対象である。従来からタンデムミラー型装置 GAMMA 10 では、高密度プラズマ生成・維持が課題であり、超音速分子性ガスビーム入射(SMBI)法を用いたガス供給や、ICRF周波数帯加熱等の工夫により研究が進められてきた。特に近年、GAMMA 10装置は先端損失粒子を用いたダイバータ模擬装置への改造および実験が進められており、本研究の推進によりパラメータ領域が拡大できれば、主閉じ込め領域のプラズマ性能向上だけでなく、ダイバータ模擬実験への貢献も期待される。

本研究においては、一昨年度よりラバールノズルを用いたSMBI実験を開始し、指向性の高い粒子供給が

可能であることが分かった。本研究の目的は、新たに導入したラバールノズルの効果を、実験とシミュレーションの両面において検証することである。

## (2) 実験方法

GAMMA 10 における高速カメラシステムと、今回新たに導入されたストレートノズル付き SMBI の設置の模式図を図 1 に示す。SMBI による水素ガス入射に伴ったプラズマ発光や挙動を観測するため、2分岐ファイバーを用いることで水平方向、垂直方向の同時測定を可能とした高速カメラシステムを構築している。高速カメラの視野は、SMBI および従来のガスパフの入射領域を、同時に観測できるように設定されている。

図 2 に、セントラル部下部の真空容器内の画像を示す。ラバールノズルはその構造の複雑さのため材質はアルミが選択された。一方、先端部にはステンレスのカバーを取り付けた。これまでの実験では、ノズル無し、ストレートノズル付きと実験状況を変えて行ってきた結果、どちらの実験条件においてもプレナム圧に対して依存性があることが確認されている。

放電シナリオは以下のとおりである。まず GP#1b-#2b により初期ガスを導入し、プラズマガンにより初期プラズマを生成した。その後、密度維持・アンカー部加熱のための ICRF 加熱(RF1)を導入し、同時に GP#3-#4 により密度を維持した。追加ガスパフの前に GP#1a-#2a によりターゲットプラズマの密度を調整し、その後 GP#7 を導入することで、プラズマ密度の増加を図った。密度計測は多チャンネルのマイクロ波干渉計により行い、トムソン散乱装置による電子温度計測、および H $\alpha$  線発光強度計測を行った。なお、今回はセントラル部における ICRF (RF2) による強力なイオン加熱を行わないことで、追加ガス導入に伴う、急激な荷電交換損失の増加を抑えることを試みた。

## (3) 実験結果

図 3 に、追加ガスパフを用いた高密度実験の結果を示す。この放電では GP#7 のプレナム圧、動作時間はそれぞれ 400Torr, 5ms であった。ターゲット密度調整用の GP#1a、#2a を導入後に、H $\alpha$  線輝度の増加、密度の増加が観測されており、GP#7 入射直前における線平均密度は  $1.5 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$  である。なお、プラズマ半径はセントラル部リミターの 18cm とした。GP#7 の入射とともに、H $\alpha$  線強度はその直前の約 6 倍、線平均密度は 1.8 倍増加し、高密度プ

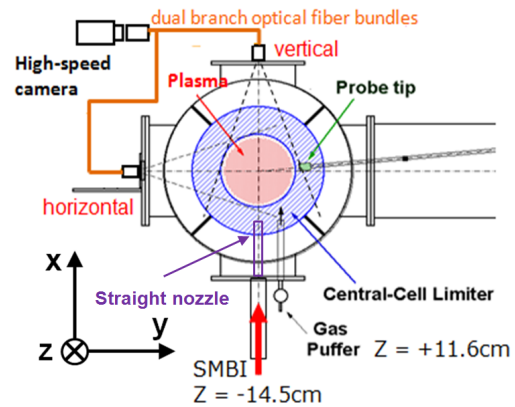


図 1 ストレートノズル付き SMBI と高速カメラの設置位置の模式図

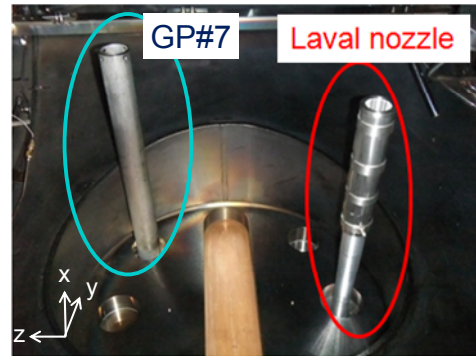


図 2 セントラル部中央付近に設置されている GP#7 および SMBI 用ラバールノズル

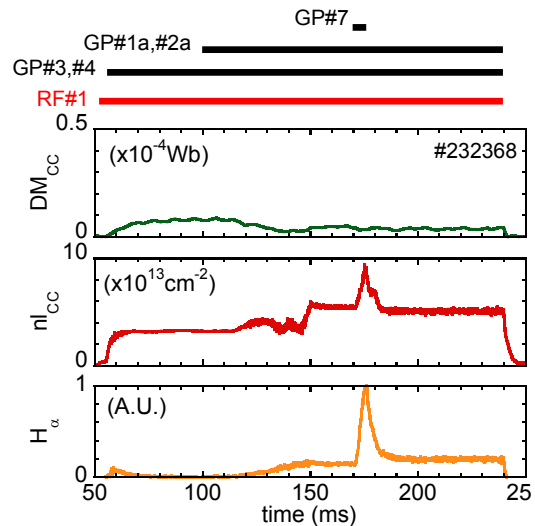


図 3 GP#7 導入実験における放電波形。上から GP および RF 加熱イミング、蓄積エネルギー、線積分密度、H $\alpha$  線放射強度

ラズマが生成された。今回はGP#7の動作時間が短かったこともあり、より高密度なプラズマの生成・維持の最適化については今後の課題である。

図4に多チャンネルマイクロ波干渉計による電子線積分密度の時間・空間発展を示す。多チャンネルマイクロ波干渉計はプラズマ中に6視線あり(図中矢印位置)、空間方向に補間している。GP#7の導入開始は170msであり、1-2ms程度遅れてy方向正の位置から密度が増加し始めている。図2に示す通り、GP#7はy方向+側にオフセットして取り付けられており、その側に高くなる非対称性が見られた。遅れ時間に関しては、ピエゾバルブから細い配管を通してガスを射出しており、配管による遅れと考えられる。その後、密度の増加は外側に伝搬し、GP#7切断の直前まで密度は増加した。

電子線積分密度の空間的広がりやy方向へのシフト量の時間発展は、簡略化のため2次元関数で線積分密度をフィッティングし、その中心位置から線積分密度のピーク位置のy方向におけるシフト量を、半値幅より広がりやを評価した。GP#7入射前ではピーク位置はほぼプラズマ中心にあり、広がりやは約22cmで一定であるのに対し、173ms以降はピーク位置のシフト量はy方向に5cm程度動き、また広がりやは30cm程度まで増加した。174ms以降では、ピーク位置のシフト量および広がりやは徐々に低下する傾向が得られた。図4に示すとおり、密度のピークタイミングは177ms程度であるが、その時刻においてはピーク位置のシフト量および広がりやとも、GP#7入射前とほぼ同じであることがわかった。これらは導入されたガスの輸送とプラズマの輸送の両面から理解する必要があり、今後、中性粒子輸送を含めた解析を行う計画である。

#### (4) まとめ

本手法ではセントラル部における強力なイオン加熱を行わないことで、従来得られなかった領域でのプラズマの高密度化が可能となり、ダイバータシミュレーションに適したプラズマ生成手法の一つが得られたといえる。今後、SMBIを用いた実験と比較することで、動的な密度・温度の制御手法の確立を目指す。

### 【5】タンデムミラー端部を用いたダイバータ模擬研究

#### (1) はじめに

核燃焼プラズマの定常維持の為に、高熱流束に耐えるダイバータの開発が急務の課題となっている。開放端磁場配位は、ダイバータと共通する磁力線の構造をしており、タンデムミラープラズマにおいて、軸方向閉じ込め電位の無いプラズマ周辺部はトーラスプラズマのSOL領域に、ミラー端部はダイバータ板前面の開いた磁場領域に酷似している。本研究の目的は、タンデムミラープラズマ閉じ込め装置ガンマ10のダイバータプラズマの模擬装置としての可能性を探るために、実験的及び

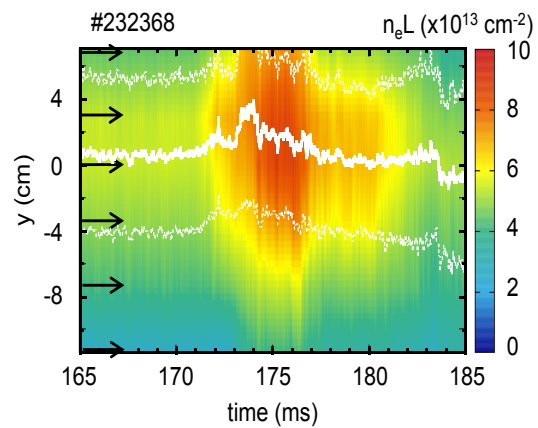


図4 電子線密度の時間空間発展。実践と破線は各々線密度のピーク位置と90%の位置を示している。

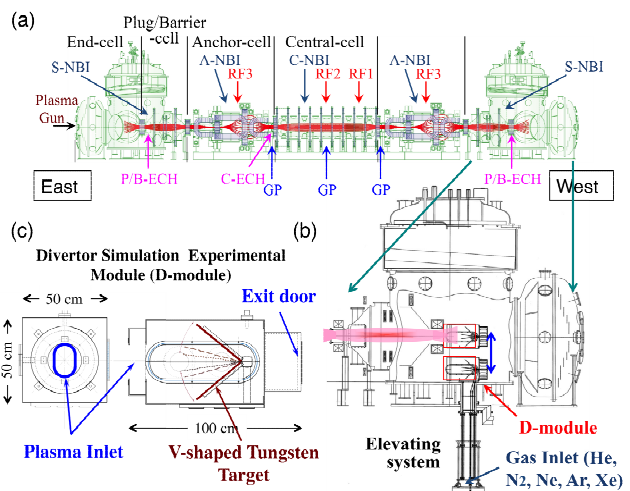


図1 (a) ガンマ10/PDX全体図, (b) 西エンド部真空容器, (c) 昨年度から稼働を開始したダイバータ模擬実験モジュール



数値計算に基づいた検討を行うことである。これによって、開放端磁場配位を活かし、ダイバータ開発における課題解決に向けた貢献を行う。

## (2) 実験装置

図1に西エンド部真空容器と昨年度稼働を開始したダイバータ模擬実験モジュール (Dモジュール) の配置を示す。平成23年度までに設置した計測器は、端部ミラーコイルの中心から中心軸外側に向かって30 cmの位置 ( $Z_{EXIT} = 30$ ) にあるカロリメータと方向性プローブの複合計測器、複数のターゲット及び計測器を備えて、 $Z_{EXIT} = 70$  cmに設置されている回転式ターゲットアセンブリ、エンドタンクに設置されている端損失イオンエネルギー分析器 (ELIEA) などがある。また、ターゲット材とプラズマとの相互作用光は、高速カメラを用いて計測されている。

平成24年度、稼働を開始したDモジュールの概略図と写真を図2に示す。本モジュールは、SUS製の断面50×48 cm、長さ70 cmの直方体の容器で、前方にあるφ20 cmの円形ポートから、端損失プラズマ流が導入される。容器内部には、V字形の2枚のタングステン製ターゲット(30 cm×35 cm)が設置されており、V字形開口部の角度が15度から80度まで可変となっている。ターゲットの表面及びV字コーナー部には、静電プローブとカロリメータのアレイが設置されており、端損失プラズマ流の粒子束、熱流束が測定される。また、後部にはガス排出口が設置され、扉の開き角度を変えることにより、容器内部の中性粒子圧力を制御できるようになっている。

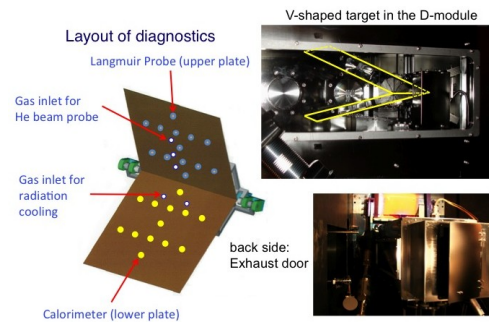


図2 ダイバータ模擬実験モジュールの概略図と写真

## (3) 実験結果

今年度はアンカー部にICRF波動 (RF3) による追加熱用に新たにアンテナを設置し、更なる端損失イオン流の大幅な増強を図った。図3は典型的な高周波波動 (ICRF) 生成プラズマ (セントラル部  $2\text{--}3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 、イオン温度5 keV) に対し、東西に設置している両アンテナを用いて追加熱を行った場合の各部のプラズマ密度と端損失イオン流の時間変化を示す。図から判るように東側アンカー部加熱時に東アンカー部の線密度が3倍近く増加しており、それに伴ってセントラル部プラズマ線密度も  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  台に上昇している。その結果西側ELIEAによる端部イオン流は約2倍以上に増加し、セントラル部に設置されている他の加熱系 (ECH及びNBI) によって更なる増加も認められた。

また、セントラル部プラズマ密度と端損失粒子束密度との関係も調べられた。図4に、ELIEAで計測されたイオン流束とミラー端部出口でプローブを用いて測定した粒子束密度の相関関係を示す。両者はすでにセントラル部の密度に対し、線形的に増加することが判っており、そのスケーリングから  $1.6 \times 10^{23} \text{ H/m}^2$  の粒子束密度が端部ミラー出口で生成されている

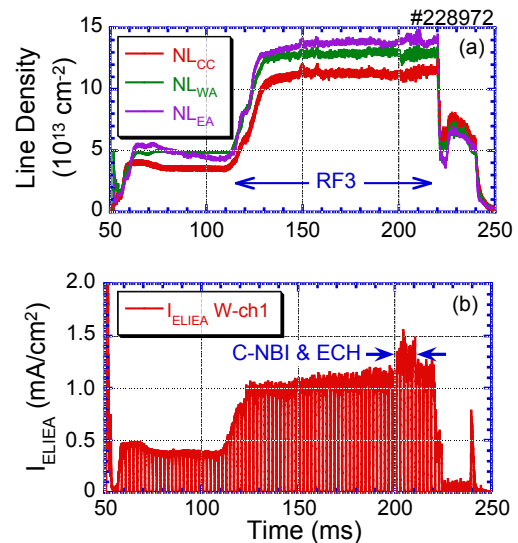


図3 アンカー部RF3による追加熱実験時のプラズマ線密度と端部イオン流束の時間変化 (左: 東アンカー部加熱時, 右: 西アンカー部加熱時)

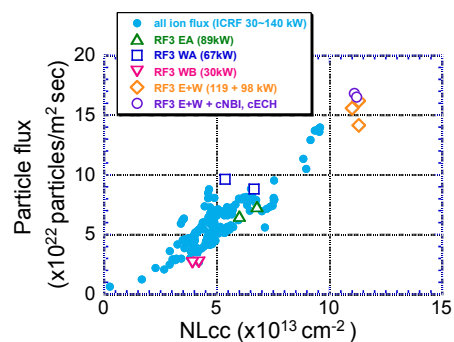


図4 ELIEAで測定したイオン流とミラー端部出口で測定した粒子束の相関

ることが判った。このことから、隣接するミラーセルにおけるプラズマ追加熱の有効性が示され、ICRFを用いた更なる高粒子束密度発生への明るい見通しを示すことが出来た。

モジュールに水素や希ガスを導入して、放射冷却を増加させることにより、RF生成プラズマの非接触プラズマ化へ向けた実験が行われた。図5は、新しく設置したガス導入口からXeガスとH<sub>2</sub>ガスを入射した場合の、モジュール内のV字ターゲットのコーナー部に設置したイオン飽和電流値の時間変化を示している。ガス入射はプラズマ放電の0.3秒程度前から行っており、プラズマ入射前にガスはモジュール内に満たされている。ガスの入射量は、ガス導入用ピエゾ弁の上流にあるリザーバーのプレナム圧を変化させて制御している。図から判るようにXeガス入射量が増えるに従ってイオン束の減少が見られ、水素との同時入射では、ガスの無い場合に比べて3%以下に低下していることがわかった。この現象は非接触プラズマの兆候の一つと考えられる。

図6は、Dモジュール内に設置したV字ターゲット上と後部(Corner)に設置したカロリメータとプローブを用いて計測した電子温度 $T_e$ と熱流 $P_{\text{heat}}$ と粒子束 $I_{\text{isat}}$ の希ガスのプレナム圧依存性を示している。V字ターゲットのコーナー周辺のLangmuirプローブによって測定された電子温度は、両方のガスの導入量の増加に伴って減少し、1000mbarのプレナム圧で、数eVに到達している。一方、イオン束は、Xeではガス無しの場合に約20%まで減少しているのに対して、Arガスの場合殆ど変化していないことが判る。以上のことからArに比べXeガスの方が非接触プラズマ形成に効果が高いことが示唆された。

図7は、V字ターゲット前面でのH $\alpha$ 発光を高速カメラで捕らえた2次元イメージを示す。Dモジュール内にXe及びH<sub>2</sub>ガスを各々1000mbarのプレナム圧で同時入射することによってV字ターゲットの前面での明るい発光が観測され、コーナー部分で、極端に減光していることが判った。この結果からも、プラズマがターゲット近傍で非接触化していることが認められる。

以上の他にもECHを用いたターゲット近傍プラズマの接触-非接触遷移実験や、N<sub>2</sub>やNeガスをを用いた放射冷却実験など、様々なダイバータ模擬実験が行われ興味深い結果が得られた。

#### (4) まとめ

新ダイバータ実験装置(E-Div.)を導入した境界プラズマにおける粒子輸送制御研究を課題に掲げ、ガンマ10端部ミラー出口において、本共同研究の課題についての実験を開始した。その結果、ICRFの追加熱による端損失粒子束密度の大幅な増加に成功し、 $1.6 \times 10^{23}$  H/m<sup>2</sup>の粒子束を達成した。また、Dモジュールを

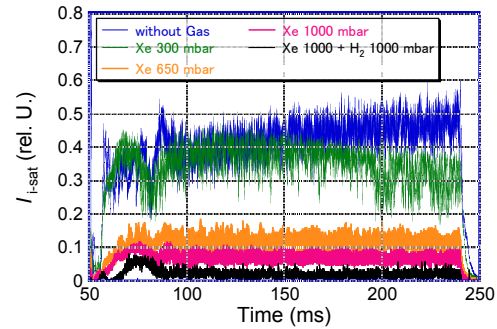


図5 Dモジュール内にXeガスとH<sub>2</sub>を入射した場合のV字コーナー部で検出したイオン飽和電流値の時間変化

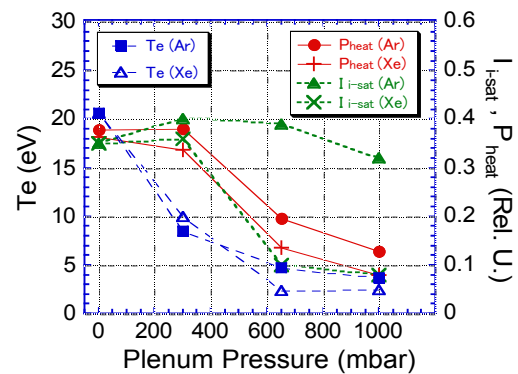


図6 Dモジュール内に設置したV字ターゲット上と後部に設置したプローブとカロリメータによる電子温度 $T_e$ と熱流密度 $P_{\text{heat}}$ 及びV字コーナー部で計測したイオン束 $I_{\text{isat}}$ の希ガス(Xe, Ar)のプレナム圧依存性

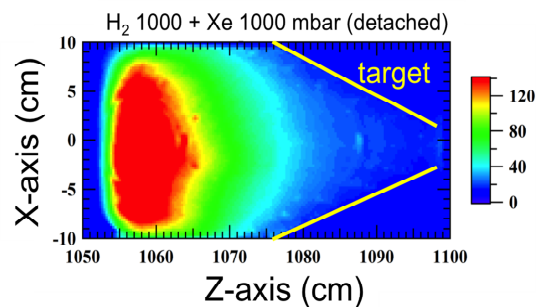


図7 Dモジュール内にXeとH<sub>2</sub>を導入した際の、高速カメラで捕らえたV字ターゲット前面のH $\alpha$ 発光の2次元イメージ



用いた本格的ダイバータ模擬実験では、 $H_2$  及び  $Xe$  ガスの導入により、非接触プラズマが生成されていることを確認した。今後は更に熱流・粒子束密度の強化に向けてプラズマ生成・加熱の最適化を推し進めると共に、ダイバータ模擬実験、プラズマ壁相互作用並びに非接触プラズマの特性、定常維持に関する機構解明へ向けて研究を進めてゆく。

## 【6】GAMMA 10 E-div 領域における数値シミュレーション解析

### (1) はじめに

直線型装置は、定常状態での実験が可能である事や、磁場構造が単純な為、観測ポート設置の利便性が非常に高い事などの環状装置には無い有利な特徴がある事から、直線型装置を使用した周辺プラズマ研究が、広く世界中で行われている。これらの直線型装置は、トカマク装置に匹敵する粒子束で研究可能である PSI-II の様に、其々の特徴を生かした研究を行っている。そこで、数値計算シミュレーションによって、プラズマなどの物理過程が強く影響を及ぼしているのかを評価する事が非常に重要となる。筑波大学に設置されているタンデム・ミラー型装置 GAMMA 10/PDX の西エンド部においても、ダイバータ模擬実験が行われている。

本研究の目的は、他の直線型装置と比較してイオン温度が非常に高いプラズマで実験可能である GAMMA 10/PDX を用いたダイバータ模擬実験に対して、新たに構築した数値計算コードを用いて数値シミュレーションによる解析を行う事によって、高イオン温度プラズマ下におけるプラズマ挙動を解明する事である。また、高イオン温度プラズマに不純物粒子や中性粒子の外部ガスパフを行った際の背景プラズマ挙動並びに、ターゲット板への熱・粒子負荷について数値計算コードを用いて評価する事である。これにより、GAMMA 10/PDX で行われているダイバータ模擬実験で現れる物理機構に対する理解や、トカマク、及びヘリカル型装置における周辺プラズマ挙動の研究に大きく貢献できる。

### (2) 流体コードの GAMMA 10 エンド部への適用

本研究で開発した流体コードは、トカマク等で広く用いられている B2 コードと同様の物理モデルで構築された方程式を使用している。そこで、本方程式に基づいた計算アルゴリズムが正しく動作している事を確認する為に、解析解と開発したコードで算出された解の比較を行った。その結果、両者の解は全ての変数でより良く一致し、本研究で使用する流体コードで導かれる解に正当性は、十分にある事を示した。図 1 に GAMMA 10 エンド部に設定した数値シミュレーション計算空間のメッシュ構造を示す。

GAMMA 10/PDX は、セントラルセル、アンカーセル、プラグ・バリアセルとエンドセルの 4 つのセルによって、構成されている。プラズマは、主としてセントラルセルにおいて生成され、ロスコーンに落ち込んだ荷電粒子がセントラルセルから、各セルを経由してエンドセルに流出する。GAMMA 10/PDX では、この端損失プラズマを利用してダイバータ模擬実験を行っている。その為、エンド部における磁力線構造を基に計算空間内のメッシュを作成する必要がある。また、エンド部に存在するプラズマは、セントラルセルから流出したプラズマであるので、エンド部に流入するプラズマパラメータ

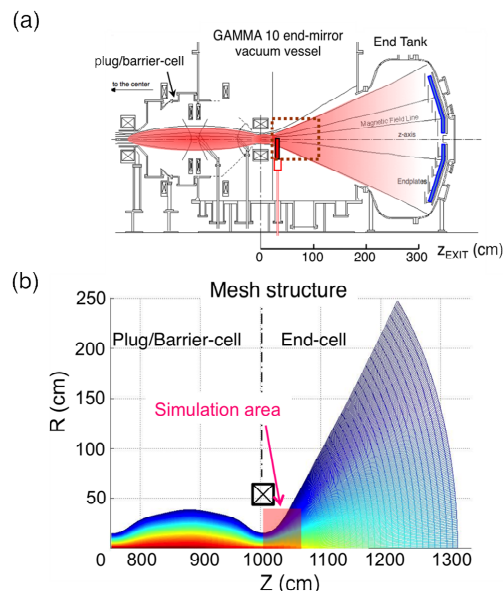


図 1 GAMMA 10 エンド部に設定した数値シミュレーション計算空間 (a) エンド部真空容器とプラズマ形状, (b) 同部に設定したシミュレーション空間のメッシュ形状と今回計算を行った領域

は常に一定であり、軸対称性を持つと仮定した。ターゲット板は、計算空間終端に、タングステン製の円形ターゲット板を設置していると仮定した。以上のように、GAMMA 10/PDX の磁力線構造と各境界条件を、新たに開発した数値計算コードに適用させた上で、テスト計算を行った。その結果、非線形性が強い系で計算される全ての変数について、より良い収束性が確認されたことから、開発した本計算コードは、GAMMA 10/PDX の環境下においても、正しく稼働している事を確認した。

### (3) 計算結果

ターゲット板への熱・粒子負荷軽減の為に、プラズマ中に中性ガスや不純物ガスパフを行う事によって、プラズマの放射損失を増大させる方法が有力視されている。ITER を代表とするトカマク等の環状型装置において、希ガスを代表とする中性ガスをプラズマ中に入射した場合のダイバータ近傍に存在するプラズマ挙動や、ダイバータ板への熱負荷の変化について数値計算コードを用いて、研究がおこなわれている。GAMMA 10/PDX を用いたダイバータ模擬実験においても、水素中性粒子や Ar, Ne, Xe, N<sub>2</sub> 等の不純物ガスパフによる熱負荷低減実験を行っている。

図2は一様なAr 中性粒子密度をシミュレーション空間内に満たした場合のプラズマ電子密度と温度の空間分布のシミュレーション結果を示す。一番低いAr ガス密度( $1 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ )の場合とプラズマ密度と同程度のAr ガス密度( $1 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ )を比較した場合、電子温度には、少しの減少が見られたが、密度には大きな差が認められなかった。最も高いAr 密度の場合では、大きな電子温度の低下がターゲット面に向かう磁力線に沿って認められている。この結果は、不純物ガス入射に起因する放射冷却効果の有意な効果として考えられる。

図3は、DEGAS モンテカルロコードを用いて行ったD モジュール内の中性粒子ガスに起因する H $\alpha$  発光の3次元シミュレーション結果を示す。図3 (a)に示すようにシミュレーション空間は比較的単純化された構造である。本シミュレーションでは、粒子源は、ターゲット表面での粒子反射を再現する様に設定されている。図3 (b), (c)に示すように、狭いV 字ターゲット角では、広く開いたターゲットに比べてH $\alpha$ 放射強度が少しだけ強くなっていることがわかり、ターゲットのコーナー周辺での中性粒子の圧縮効果が示唆されている。これらの結果から、ダイバータ領域における背景プラズマのシミュレーション解析では、中性ガスの挙動が重要な影響を及ぼしていることが確認できた。今後両者のシミュレーションをリンクさせて計算の精度向上を図る予定である。

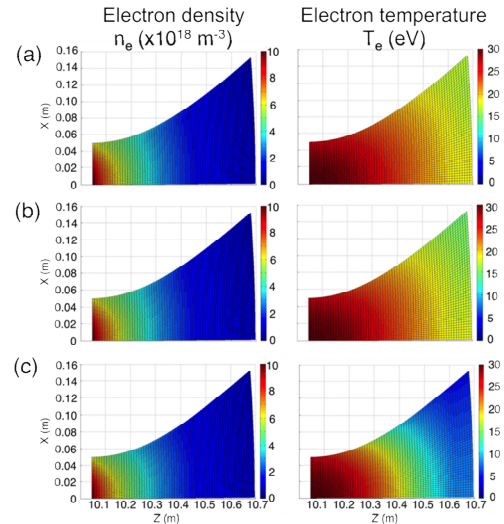


図2 Ar 中性粒子密度を一様に与えた場合のプラズマ密度・温度の空間構造のシミュレーション結果 Ar 中性粒子密度 (a)  $1 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ , (b)  $1 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ , (c)  $1 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$

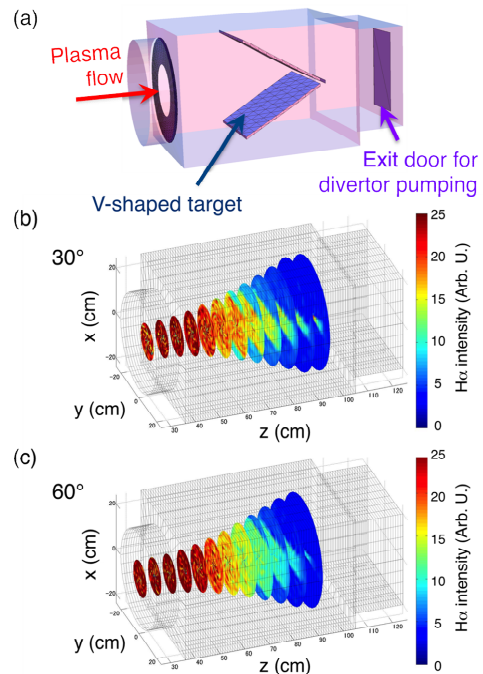


図3 DEGAS モンテカルロコードを用いた中性粒子輸送シミュレーションの結果 (a) 3次元メッシュモデル, (b) V 字ターゲットの開口角 30 度の際の H $\alpha$  強度分布, (c) 60 度の場合

## 【7】 GAMMA 10/PDX における YAG-Thomson 散乱計測による電子温度・密度分布計測

タンデムミラー-GAMMA 10/PDX では、高出力マイクロ波による電子加熱を行って高電位生成を行い、磁場に加えて電位でもプラズマを閉じ込めることによってプラズマ性能を向上させている。そして、主閉じ込め領域であるセントラル部への電子直接加熱を行うことによって、電子温度を上昇させる実験を行っている。この電子温度を直接計測するためにトムソン散乱計測システムを導入した。本研究では、これまでに空間3点、1時刻の電子温度・密度計測ができるように改良してきた YAG トムソン散乱計測システムを、空間測定点の増加、多時刻計測が可能ないように改良し、電子温度、密度の径方向分布計測を1プラズマショットで調べることに、及びダイバータ部のトムソン散乱計測システムの構築、さらにトムソン散乱信号増加のためのマルチパスシステムの構築を目的とした。当該年度は、空間多点計測のための集光ミラーの増設、分光器、計測オシロスコープの増設、多時刻計測のための解析プログラムの構築、ダイバータ部トムソン散乱計測システムの設計開発を進め、分光器、光ファイバーの設計製作を行った。また、大口径の偏光制御装置を使用することでマルチパスシステムの改良を進め、これまで4パスのトムソン散乱信号までしか測定できていなかったものを6パス以上まで増やすことができた。

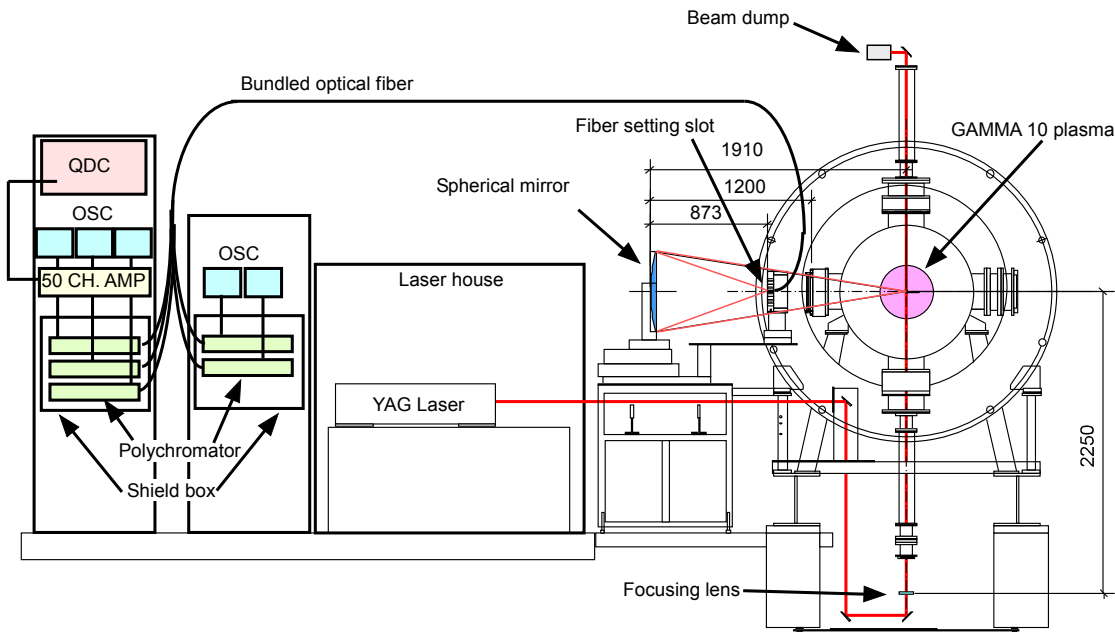


図1：GAMMA 10 トムソン散乱計測システム概略図

図1に GAMMA10/PDX における YAG-Thomson 散乱計測システム概略図を示す。高出力の YAG レーザー (1064 nm, 2 J/pulse) をプラズマに入射し、90° 散乱光を集光ミラー (φ 600 mm, R = 1200 mm) で集光し、光ファイバーバンドル (各チャンネル: input 2 × 7 mm, output φ 4.6 mm, NA:0.47) でポリクロメーター (5チャンネルフィルター付き APD 分光器) まで光を伝送する。ポリクロメーターの信号測定には、高速デジタルオシロスコープ6台 (5台は IWATSU, DS5524, 1台は Tektronix, DPO4034) を使用する。これにより、ポリクロメータ、オシロスコープを増設し、空間6点からの散乱光を測定可能とした。また、IWATSU 製オシロスコープのデータ収集プログラムの構築を行い、6台のオシロスコープの同時多時刻計測制御を可能とした。しかしながら、オシロスコープのトリガー信号にプラズマショット中の電磁ノイズの影響で多時刻計測に失敗することもあるため、来年度はこの問題を解決する必要がある。図2に空間5点同時計測結果を示す。

本 Thomson 散乱計測システムは集光系の影響でプラズマ径の外側で散乱信号が小さくなる。このプラズマ径外側での光量増加のため直径 200 mm、曲率半径 1200 mm の凹面ミラーを追加した。これにより現在の X = -10, -15, -20 cm の位置で散乱信号強度が2倍程度増加する予定である。現在のところ、調整が不十分のため明らかな信号増加は確認されていない。

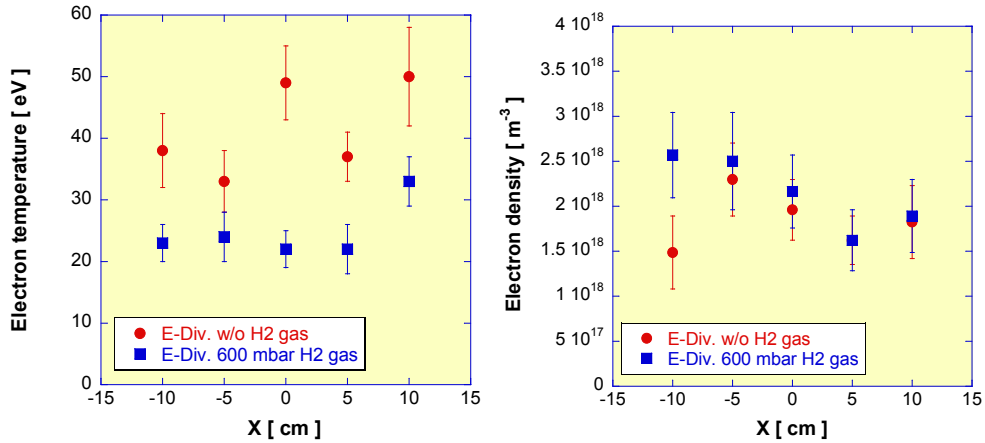


図2：空間3点同時計測結果。電子温度分布(a)および電子密度分布(b)。

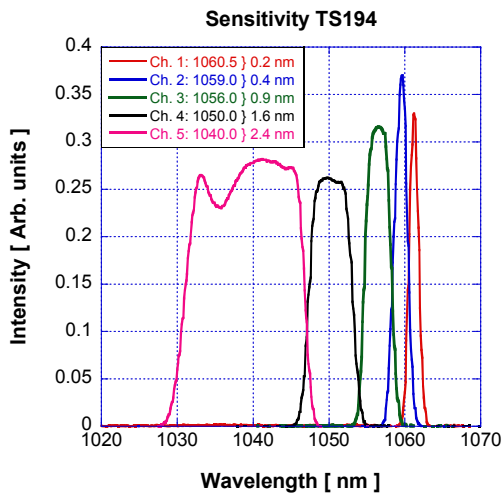


図3：分光器の相対波長感度。

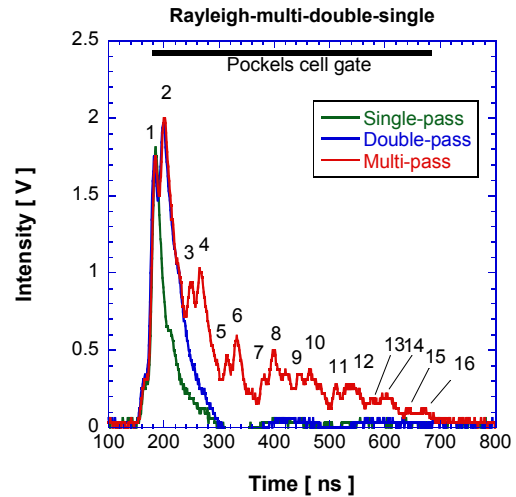


図4：レーリーガス散乱実験におけるマルチパス信号

一方、エンド部のダイバータ・Thomson 散乱計測システムについては、電子温度が 0.1 eV 程度から測定できるような5チャンネル・ポリクロメーターを開発した(図3)。また、エンド部真空容器内から容器外まで光信号を伝送できるような光ファイバーの設計開発を進めた。

以上により、本年度は、空間多点、多時刻計測に向けた開発が順調に進んだ。今後、エンド部のダイバータ模擬部へのThomson 散乱計測システムの構築を進めていくこととする。

マルチパスシステムの開発に関しては、4パス以上のパス数を目指してマルチパスシステムの改良を進めた。ポッケルスセルを大口径のもの(Gooch&Housego, QX1630)に交換した。これによって、レーリーガス散乱実験においては、10パス以上の散乱信号を確認した(図4)。全16パスで約3.6倍程度散乱信号が増加したことが分かる。本マルチパスシステムをプラズマ電子温度計測に適用した結果を図5に示す。マルチパストムソン散乱信号は最大8パス程度まで確認できた。細赤線は、1パス、青太線はマルチパスシステムでの散乱信号を示す。マルチパストムソン散乱信号の積分値は、シングルパスの信号積分値の約3.6倍程度あり、測定した電子温度は、

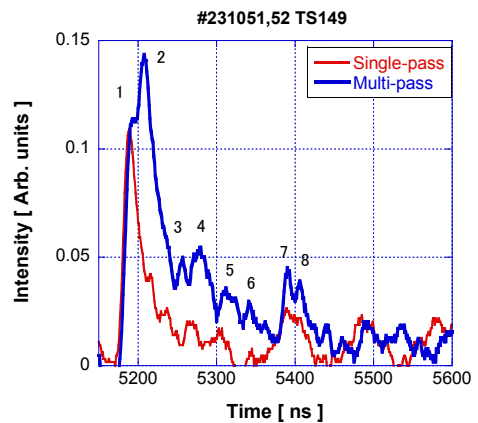


図5：マルチパストムソン散乱信号波形

測定した電子温度は、



54 ± 5 eV となり、シングルパスで測定した電子温度 87 ± 62 eV に比べ格段に測定精度が上昇した。しかしながら、本マルチパスシステムの最適化が完全に終わっていないためシステム全体の特性を詳細に確認するまでには至らなかった。

本マルチパスシステムにより、当初の目的であった、散乱信号の増加、電子温度計測精度の向上が達成できた。また、LHD における 2 パスシステムによる後方散乱、前方散乱計測による電子温度計測範囲の上昇が確認された。

## 【8】2次元多チャンネルH $\alpha$ 線計測器を用いたトモグラフィ計測

GAMMA 10 では、境界プラズマ模擬のためのダイバータ・モジュール (D-module) を組み込み境界プラズマ研究を本格化させている。そして、D-module 内への不純物ガス入射による熱負荷低減などの実験が精力的に進められている。GAMMA 10/PDX のセントラル部には、2次元多チャンネルH $\alpha$ 線計測器が設置されており、H $\alpha$ 線放射輝度分布計測からトモグラフィ手法によりH $\alpha$ 線体積輻射率分布を求め、衝突・輻射モデルを用いて中性水素密度分布を求めることができる。これまでは、ART (Algebraic Reconstruction Technique) 法というトモグラフィ手法を用いていたが ART では解析結果が滑らかにならず、ある程度断面の形状を考慮した初期値を必要としていた。そこで、トモグラフィ計測の精度向上を目指して、Phillips-Tikhonov (PT) 法という手法で計算コードを作成した。これを用いて、D-module 内への不純物ガス入射実験時のコア領域のプラズマへの影響、つまりエンド部のガス入射のセントラル部プラズマへの影響を調べることを目的としている。

GAMMA 10/PDX で2次元H $\alpha$ 線放射輝度分布から体積輻射率分布を求める方法としてPT法を用いることとした。これは、画像  $f(x)$  のラプラシアン積分をペナルティー関数(画像  $f$  の荒さを評価する関数) に用いたものである。ART 法では、初期値によって再構成画像に影響を与えるが、PT 法では初期値を与える必要が無いので再構成はより正確である。また、PT 法では画像の粗さを最小にしているため、ART 法よりも滑らかな再構成画像が得られる。図1 (a) にテスト体積輻射率分布、(b) にPT法によって得られた再構成画像を示す。PT法によって得られる再構成画像は、ART法によって得られるものよりも3倍程度改善されていることが分かった。

次に、D-module 内に不純物ガスを入射することによりセントラル部に影響を及ぼすことがあり、その影響を調べることは、D-module 実験を行っていく上で重要である。D-module における非接触プラズマ実験のために入射する不純物ガスとしてXe、Ar、N<sub>2</sub>が用いられている。Xeガス入射実験時のセントラル部におけるトモグラフィ解析を行った。図2に、径方向のH $\alpha$ 線体積放射率分布のXeガス圧依存、図3にXeガス圧を変えた場合の中性粒子密度、図4に中性粒子生成量を示す。Xeガスを入射するとH $\alpha$ 線の強度はガス量に応じて中心付近で増加する。Xeガス入射実験では、中心付近で電子密度・温度ともに減少する。そして、水素中性粒子密度は2.5倍程度増加し、プラズマ中心付近で粒子生成量はわずかに増加している。このときの径方向の粒子損失が増加しており、水素リサイクリングが促進され、さらに電子温度が減少することにより、

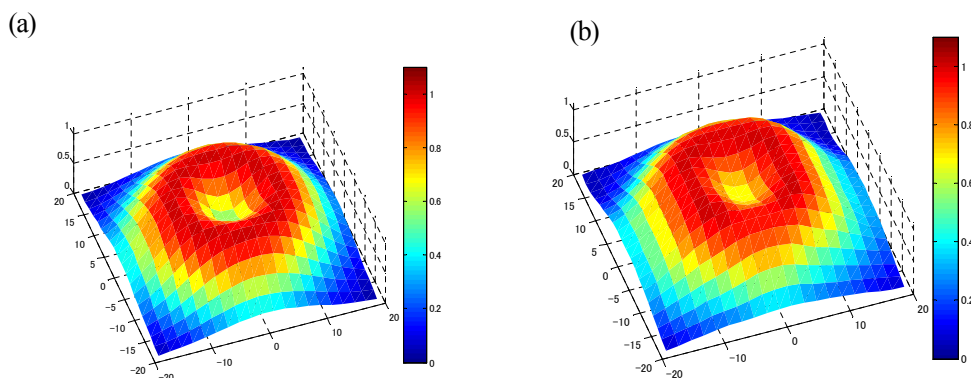


図1 : (a)はテスト体積輻射率分布、(b)はPT法によって得られた再構成画像。



中性粒子が中心付近で増加したと考えられる。

本研究では、新たにPT法によるトモグラフィ解析プログラムを構築し、これまで用いていたARTよりも精度の良い解析が可能となった。また、D-module内への不純物ガス入射実験におけるコア領域のプラズマへの影響を調べた結果、中心付近で水素中性粒子密度が増加し、粒子生成量も増加した。これは、径方向損失が増加し、水素リサイクリングが促進され、さらに電子温度が減少したことで、中性粒子が中心付近で増加したと考えられる。

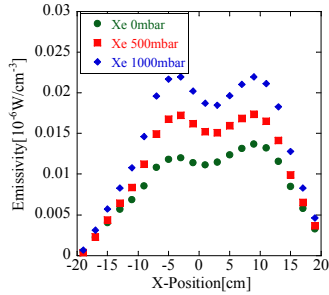


図2: トモグラフィ解析

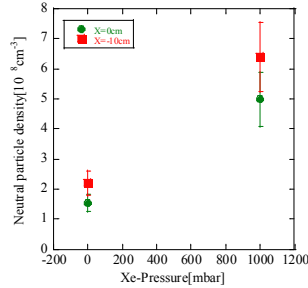


図3: 水素中性粒子密度

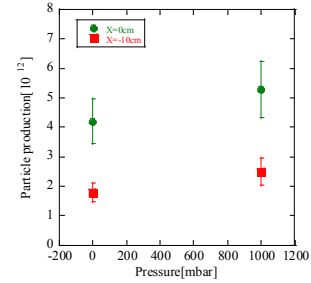


図4: 粒子生成量

### 【9】 GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬実験のためのマイクロ波イメージング干渉計システムの開発

GAMMA10/PDX では、西エンド部にダイバータ模擬実験装置 (D-module) を設置し、直線型装置の端損失プラズマを活用したダイバータ模擬実験を行っている。D-module 内部にはタングステンの V 字型ターゲットが設置されている。これまで D-module 中の電子密度の情報はターゲット上と周辺部に設置された静電プローブにより得ていたが、Z 軸上を含むターゲット内部の電子密度は不明であった。そこで D-module 内部の電子密度の空間構造を調べるために、新しくダイバータ部マイクロ波イメージング干渉計システムを開発した。

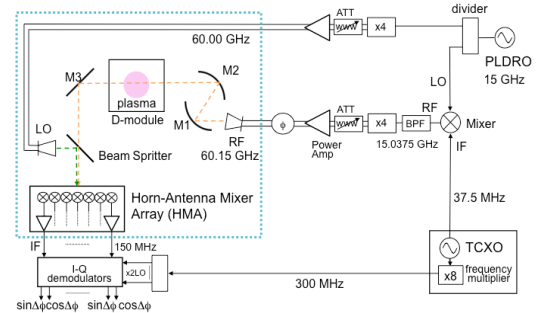


図1 ダイバータ部イメージング干渉計システム

今回開発したマイクロ波干渉計システムの概要図を図1に示す。また図2に計測配位と磁力線の様子を示す。本システムは核融合科学研究所で開発された1次元ホーンアンテナミキサーアレイ (HMA) を検出器として用い、位相イメージングの手法により電子線密度の分布計測を行う。送信システムでは周波数安定性に優れたフェーズロック誘電体発振器、温度補償水晶発振器、ならびに周波数通倍器を用いて60GHz帯の入射波/参照波を生成する。光学系およびHMA検出器は高速カメラ等既設の計測器の視野を遮らぬよう真空容器内のD-module周辺部に設置した。入射アンテナからのマイクロ波は2枚のミラーにより平行光となり水平方向からV字ターゲット内をZ軸に対し斜めに横切るように入射している。透過波ならびに参照波はHMAの受信面に照射され、内蔵ミキサによりIF信号(150MHz)が検出される。D-module周辺において計測器の設置が可能な空間が限られているため、コンパクトにアンテナをアレイ状に配置したイメージング検出器であるHMAは空間計測に有用である。

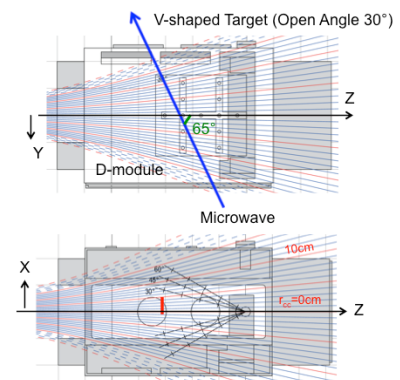


図2 干渉計の計測配位と磁力線

GAMMA10/PDX 装置の上下方向を x 軸 (装置中心は  $x=0$ ) として、V 字ターゲット内の中心付近  $x=-1\sim+5.5$  cm (図 2 の赤線) の範囲を 6 点計測する。本計測では磁力線が開いているエンド部にマイクロ波を斜めに入射しており偏波を一意に決められないが、入射周波数をサイクロトロン周波数とプラズマ周波数に対し高く設定することにより正常波入射で近似して電子線密度を評価している。

今回 D-module 内部に水素ガスを入射した実験において、本干渉計により電子線密度が初めて得られた。水素のプレナム圧は 400mbar、ターゲットの角度は 45 度である。図 3(a) に本実験におけるセントラル部の反磁性量と電子線密度の時間変化を示す。図 3(b) に干渉計で得た平均電子密度の時間変化を示す。また図 3(c) に各時間帯における平均電子密度の空間分布を示す。ターゲット内中心付近の平均電子密度は  $8\times 10^{17} \sim 11\times 10^{17} \text{ m}^{-3}$  であった。V 字ターゲット上には複数の静電プローブが設置されておりターゲット板近傍の温度・密度計測を行っている。このとき干渉計の計測位置に比較的近い静電プローブより得られた周辺部 ( $x\sim 9.5$  cm) の密度 (図 3(c) 白抜きデータ) は  $1\times 10^{17} \sim 2\times 10^{17} \text{ m}^{-3}$  であり、干渉計で得られた中心部の密度は計測領域の差異はあるがターゲット板近傍と比べ 1 オーダー程度高いことが明らかとなった。

また水素 200mbar、He 500mbar の入射実験において、He 分光による中心部の電子密度計測と本干渉計との比較を行った。図 4 は赤線が干渉計による電子密度、青線が干渉計の視線に比較的近い位置に視野をもつ He 分光計測による電子密度を示す。変動が激しい時間帯を除くと両者の違いは 2 倍程度であった。静電プローブによる周辺部の密度 (黒丸) との比較より、いずれの計測でも中心部ではターゲット板近傍より密度が高いことが確認された。

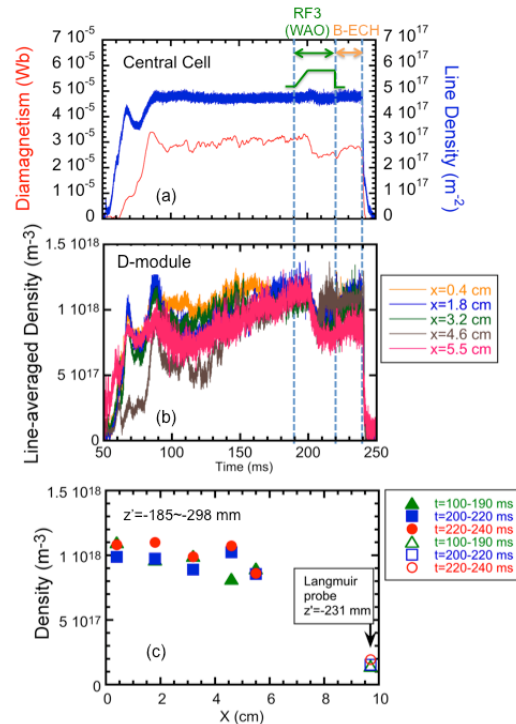


図 3 (a) セントラル部の反磁性量と電子線密度、(b) 干渉計で得た D-module 内の平均電子密度の時間変化、(c) 平均電子密度の X 方向分布。

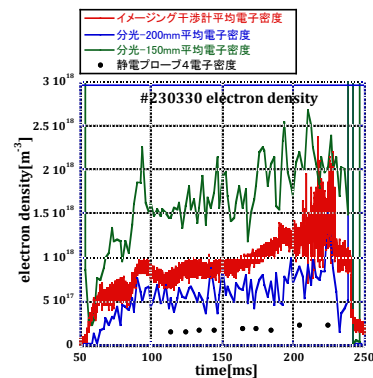


図 4 干渉計、He 分光、静電プローブより得られた D-module 内部の電子密度の時間変化。

## 【10】高周波を用いた初期プラズマ生成と加熱、及び加熱プラズマの巨視的・微視的挙動の解析

イオンサイクロトロン周波数帯(ICRF)の高周波を用い、プラズマ中の電位形成やプラズマ閉じ込め物理、また、開放端磁場配位を利用したダイバータ模擬実験等の境界プラズマ研究における標的プラズマ生成、イオン加熱の実験を進めている。さらに、高性能プラズマを制御する上で不可欠なプラズマの巨視的・微視的挙動についての研究を並行して進めている。平成 26 年度は、アンカー部加熱の高効率化のためにセントラル部とアンカー部に設置したアンテナを同一周波数で駆動し、そのアンテナ間の位相差を制御する実験に関して、波動励起コードを用いて解析した。また、東西アンカー部同時入射による両アンカー部の高密度化とセントラル部の密度上昇を実現した。プラズマ中における励起 ICRF 波動や温度非等方性により自発励起されるアルベンイオンサイクロトロン (AIC) 波動の特性を計測するため、マイクロ波反射計を利用した波動

計測を行った。

### (1) セントラル部・アンカー部の ICRF アンテナ間位相差制御実験

アンカー部加熱強化を目的として、東西両アンカー部のセントラル側アンテナ (EAI-DAT, WAI-DAT) と西アンカー部のエンド側アンテナ (WAO-DAT) とセントラル部 Type-III アンテナとの位相差制御実験を進めている。一例として、図 1 にアンカー部 WAI-DAT アンテナとセントラル部 Type-III アンテナとの位相差に対してセントラル部線密度と 2 次電子検出器 (SED) 信号をプロットしたものを示した。位相差は、真空容器への導入端子付近で測定されたセントラル部アンテナに対するアンカー部アンテナの値としている。EAI-DAT, WAI-DAT アンテナでは、位相差  $\pi/2$  付近で、WAO-DAT アンテナでは位相差 0 の付近で線密度と SED 信号が最大となった。

図 2 は、セントラル部アンテナと西アンカー部 WAI-DAT アンテナを模擬して計算した励起波動の位相差依存性を示している。励起波動の強度は、衝突周波数を固定して吸収された電力で評価している。セントラル部、アンカー部 2 つのアンテナに対してセントラル側 (Left side) とエンド側 (Right side) 及び 2 つのアンテナ間 (Between antennas) における吸収電力の位相差依存性を示している。実験における西アンカー部の共鳴層は、Right side に対応している。ほぼ  $\pi/2$  付近に最大値があり、実験で観測された依存性と一致することがわかる。EAI-DAT アンテナの場合は、WAI-DAT アンテナと磁場形状が幾何学的に等しいため、WAI-DAT アンテナと同じ結果となる。また、WAO-DAT アンテナを模擬した場合は、共鳴層の位置は、Between antennas に対応し、実験と同じく位相差が 0 付近で最大値が得られた。一方、実験におけるセントラル部の密度上昇は、セントラル側に伝搬し吸収される波動強度の位相差依存性と異なり、アンカー部の密度変化と同じ依存性を持つことから、アンカー部の密度上昇がプラズマ全体のパラメータ上昇に寄与していることが明らかとなった。

図 3 に、東側アンカー部の真空容器内部に設置したマイクロ波ホーンアンテナを用いた EAI-DAT アンテナの位相制御加熱時の密度揺動強度と東側アンカー部の線積分密度の位相差依存性を示す。横軸は二つの ICRF アンテナ間の位相差 (相対値) である。東側位相制御は 9.9 MHz で行い、西側は 10.3 MHz で独立に加熱している。このとき、位相差が 0 付近においてアンカー部が効率的に加熱され、密度が上昇している。逆に、反位相付近ではプラズマが保持されずに放電が終了する傾向にあった。これは、アンカー部プラズマ圧力低下により MHD 安定性が確保できなくなったためと考えられる。図 3 より、位相制御を行っていない 10.3 MHz の揺動強度は、線積分密度と同様の位相差依存性を示している。位相差 (横軸) に関係せずに独立で入射している 10.3 MHz の密度揺動レベルが一

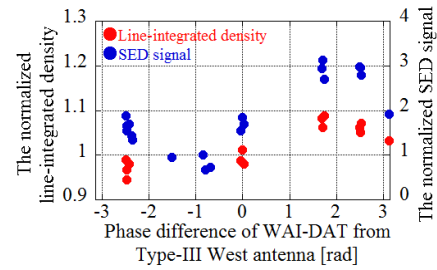


図 1 セントラル部線密度と SED 信号のセントラル部アンテナと WAI-DAT アンテナとの位相差依存性

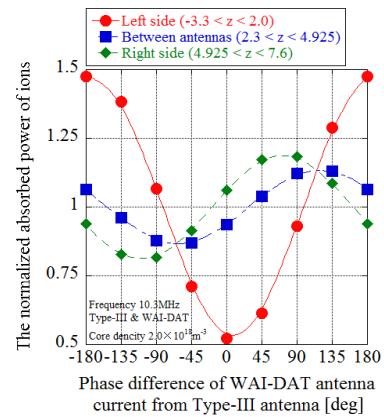


図 2 WAI-DAT を模擬した時の 3 次元波動コードによる 2 つのアンテナの左側、間及び右側における吸収電力の位相差依存性

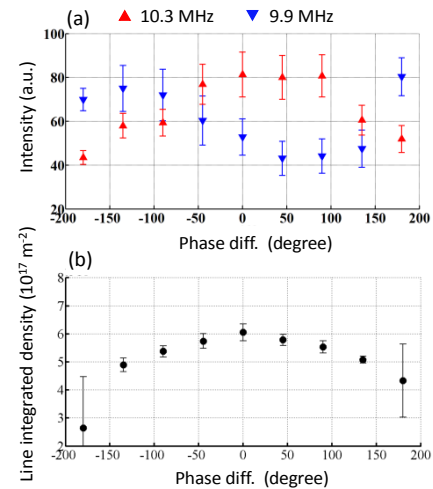


図 3 東側アンカー部位相制御 ICRF 加熱時の (a) ICRF 波動に伴う密度揺動強度、(b) 東側アンカー部の線積分密度の位相差依存性

定と考えた場合、密度の増減に伴う揺動強度の増減を表していると考えられる。一方で、9.9 MHz の揺動強度は位相差に対して正弦的に変化しており、位相制御による波動強度の変化を強く示唆している。単なる密度の変化とは異なる依存性を計測することができ、反射計による波動計測の有用性が示された。しかし、揺動強度が最も大きくなる位相差とグローバルパラメータとの関係については議論が残されており、計測点と共鳴層位置との関係などの観点から、今後より詳細に調べる必要がある。この目的のために、本年度末の大気開放時に、西側アンカー部内に新たなホーンアンテナを増設し、共鳴層を挟むセントラル側とエンド側の両側における計測を可能にした。西側アンカー部では、波動を励起するアンテナについても共鳴層を挟む両側に設置していることから、これら二つのアンテナを用いて行う位相制御加熱時のデータを比較する等により、励起波動強度と加熱効果との関係が今後明らかになることが期待される。

## (2) アンカー部及びバリア部の ICRF アンテナを用いたプラズマ高密度化実験

ダイバータ模擬実験に必要なとされるエンド部からの損失イオンの高粒子束化は、セントラル部に生成されるプラズマ密度に強く依存することが観測されている。これまでに、アンカー部に強く ICRF 波動を励起する実験条件を満たす事で、アンカー部プラズマ密度が大幅に上昇する実験結果を得ている。そこで、東西両アンカー部に高周波を同時に入射すると (110-240 ms)、両アンカー部の高密度化とセントラル部の密度上昇が示された (図4)。東西両アンカー部アンテナは、セントラル部東西 TypeIII 型アンテナとの間の位相差が最適な値に設定されている。アンカー部アンテナへの高周波入射とともに、追加のガスがセントラル部へ入射されている。東西アンカー部高周波入射とともに東西アンカー部の線密度が上昇し、 $10^{18} \text{ m}^{-2}$ をはるかに超す線密度まで上昇している。アンカー部高密度化とともにセントラル部の線密度も  $10^{18} \text{ m}^{-2}$ 以上に上昇することを確認した。このとき、金中性粒子ビームプローブで計測されたセントラル部プラズマ電位、東西の端損失イオン・エネルギー計測器で計測された電位の顕著な上昇を確認した。端損失イオン・エネルギー計測器で測定される電位は、セントラル部とエンド部の間の最大電位を示すことから、両アンカー部の高密度化に伴うイオン閉じ込め電位による閉じ込め改善がセントラル部の密度上昇の原因の一つと考えられる。セントラル部の密度上昇により、端損失イオン束は  $10^{23} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ を超す、これまでに得られた最大のイオン束が観測されている。さらに装置端部で計測されたイオン温度は高密度条件下でも 100 eV を上回る値を維持した。

## (3) ICRF 波動間の非線形結合による波動励起の解析

反射計で計測する密度揺動には、プラズマの外側で計測す

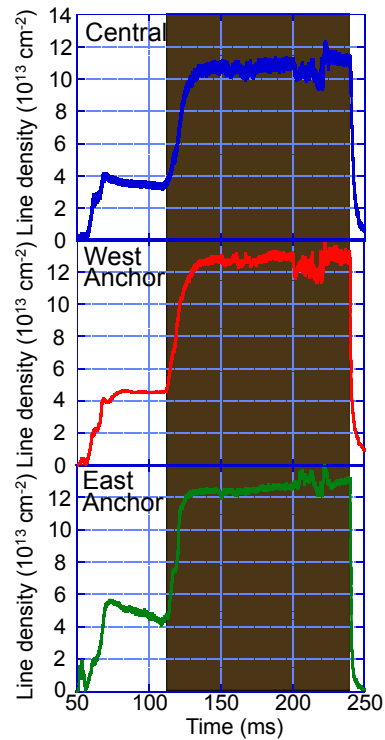


図4 東西両アンカー部ICRF 同時入射時のセントラル部、西アンカー部、東アンカー部線密度の時間発展

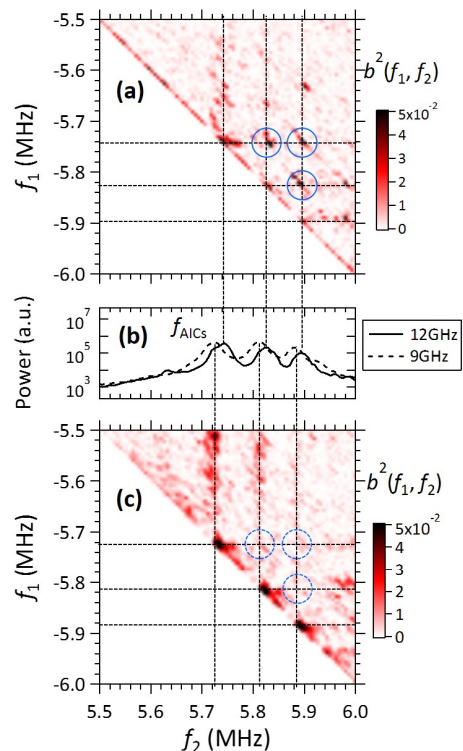


図5 密度揺動信号のバイコヒーレンスの異なる径方向位置での比較



る磁場揺動よりもはっきりと、波動-波動結合により励起されたと考えられる波動が観測されている。そこで、反射計で得た密度揺動信号にバイスペクトル解析を適用し、GAMMA 10におけるICRF波動間の三波結合を評価した。特に、AIC波動間の差周波波動の励起は、高エネルギーイオンの軸方向輸送機構の観点から重要な研究対象となっている。装置端部で計測した6 keV以上の高エネルギーイオン信号から、それらイオンが連続的（衝突効果）よりはむしろ周期性を持ってバースト的に損失され、その周期が丁度AIC波動間の差周波数であることがわかっており、これは波動粒子相互作用による軸方向輸送の存在を示しており、その解明に向けて、まずは差周波波動の励起を詳細に調べた。AIC波動間の差周波の範囲を拡大したバイコヒーレンスを図5に示す。図5では、半径方向内側（12 GHz）と外側（9 GHz）の二点でのバイコヒーレンスを比較している。AIC波動間の差周波を生成する三波結合に着目すると、内側領域(a)では顕著な結合が存在するのに対し、外側領域(c)では結合していないことがわかる。統計ノイズレベルは図中白色のレベルであり、これら結果は統計的に有意である。他の径方向位置においても、同様の計測、解析を行った結果、AIC波動間の差周波波動を生成する三波結合は、中心の狭い領域においてのみ顕著であることが判明した。この理由を調べるために、差周波波動の安定性や、非線形性のプラズマパラメータ依存性を今後調べる。

## 【11】ガンマ10セントラル部ECHシステムにおけるブロード放射アンテナの開発

ガンマ10において、電子サイクロトロン加熱(ECH)は、高いプラズマ閉じ込め電位の生成及び高い電子温度の達成に、本質的なツールである。主要閉じ込め領域であるセントラル部では、イオン温度に比べて電子温度が低く、イオン・サイクロトロン加熱(ICH)により生成されたイオン温度が数 keV の高温イオンが、電子との衝突により、エネルギーを損失する事が問題となっている。従って、セントラル部の電子温度を上げて、高温イオンの電子ドラッグによるエネルギー損失を抑制することは重要な研究課題である。

平成26年度は、前年度に得られた実験結果に基づき、吸収位置制御の観点から、これまでの2パス型のアンテナ系と比較して、共鳴層での放射分布形状がブロードとなるアンテナ・ミラーの設計(M5)を行った(図1)。このアンテナ系の設計では、局所加熱ではなくプラズマ全体を加熱出来るようにミラー系の最適化を行った。その結果、電力密度の1/e半径が約8 cm、伝送効率95%のアンテナ系を設計できた。このアンテナ系をガンマ10に適用し、初期的なプラズマ実験を行った。

これまでの2パス型のアンテナ系では、軸対称に加熱された場合は、プラズマ・エネルギーの指標となる反磁性量が増加したが、入射マイクロ波の偏波、パワー、加熱位置のずれ等の条件次第では、ベース・プラズマの回転や振動を引き起こし不安定となる結果が得られた。これに対して、ブロード・アンテナ系の場合は、2パス型のアンテナ系でプラズマの回転等の不安定性が見られた入射パワーと同等レベルのパワー入射でも、プラズマの回転等は見られずに安定に入射する事が出来、ECH印加時の不安定性の抑制に効果があったと考えられる。しかしながら、反磁性量の増加は、10-20%程度とそれ程大きくはなかった。従って、実験条件によっては、電子ドラッグ以外のエネルギー損失の影響が大きくなっている可能性がある事が分かった。

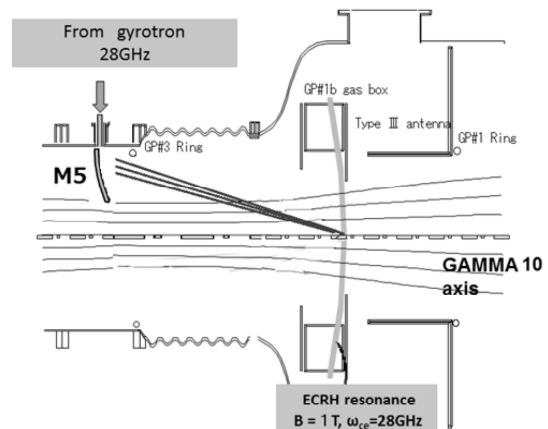


図1 セントラル部ECHアンテナ配位。

## 【12】ガンマ10におけるジャイロトロン開発研究と ECRH システム高性能化

### (1) はじめに

タンデムミラーGAMMA10/PDX では、プラグ部及びセントラル部電子サイクロトロン加熱(ECH)によるプラ



ズマ閉じ込め性能の研究と改善に加え、基幹研究の新展開として開始されたダイバータ模擬研究の高度化に向け、ECHシステムの大電力化、長パルス化を進めている。ECH/ECCD(電子サイクロトロン電流駆動)用大電力マイクロ波源である大電力ジャイロトロンの開発は、共同研究として行っている核融合科学研究所(NIFS)のLHD用や九州大学のQUEST用ジャイロトン等の開発も含め、筑波大学プラズマ研究センターにおける研究開発の大きな柱の一つと成っている。

2014年度においては、GAMMA10/PDXのみならず、QUEST、プリンストン大学のNSTX-U、京都大学のHeliotron JにおけるECH/ECCD用として28GHz/35GHzの2周波数で動作可能なジャイロトロン設計を進め、一部部品製作を行った。また、GAMMA10やQUESTでの使用を見込んだ14GHzジャイロトロン設計を進めた。一方、NIFSとの共同研究として、154GHzジャイロトン2号機の性能評価試験を実施し1.17MWの出力を確認、LHD実験に貢献した。更に、日本原子力研究開発機構との共同研究により300GHzジャイロトロン開発を開始した。初期評価試験において、サブTHz帯において世界最初の成果となる、500kW以上の出力をmsオーダーのパルス幅で達成した。

### (2) 28GHz/35GHz 2周波数ジャイロトロン開発研究

筑波大学プラズマ研究センターでは28GHz-1MWジャイロトロンを開発し、最大出力で1.2MW、長パルス運転で0.6MW-2sを達成した。本ジャイロトロンは、共同研究として、九州大学のQUEST装置に適用され、60kAのプラズマ電流立上や、8.2GHzのカットオフ密度より高い $1 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ を超えるオーバーデンスプラズマの生成等の成果を得た。

次のステップとして、GAMMA10におけるダイバータ模擬実験において、より高い熱流束を生成するためにGAMMA10用28GHz-2MW-3sのジャイロトロン開発を進めている。このジャイロトロンは、共同研究を有効に進めるため、QUESTで必要とされる動作性能28GHz-0.4MW-CW(連続動作)、プリンストン大学のNSTX-Uで必要とされる動作性能28GHz-1.5~2MW-3s、更に京都大学のHeliotron Jで必要とされる動作性能35GHz-1MW-0.5秒を1本のジャイロトロンで動作可能な、28GHz/35GHzの2周波ジャイロトロンである。2013年度までに、空洞発振モードを、28GHz- $TE_{6,5}$ と34.78GHz- $TE_{10,6}$ に決定し、空洞共振器と放射器の最適化設計を進めるとともに、電子銃は、既設28GHz-1MWジャイロトロンと同一設計の電子銃が使用可能であることを確認した。

2014年度は、空洞共振器と放射器の設計を確定するとともに、コレクタと出力窓の設計を行った。コレクタは、NIFSの168GHzジャイロトン用スイープコイルの配置構成を組み直す事で、熱負荷をCW動作可能な値に抑えることができた。出力窓は、エッジ冷却のシングル窓で28GHz-2MW-3s、34.8GHz-1MW-3sの動作可能であるがCW動作が不可能なので、2枚のサファイア・ディスク間をフッ素ナートで冷却するダブルディスク窓とした。図1にダブルディスク窓の窓温度の時間変化を示す。各部の電気設計に基づき、ジャイロトン全体の構造設計を行った。更に、構造設計に基づき、電子銃、ビームトンネル、空洞共振器、出力窓、一部外装部品の部品製作を行った。今後、残部品の製作を進め、ジャイロトン組立を行う予定である。

### (3) 14GHz ジャイロトロン開発研究

2013年度において、GAMMA 10セントラル部ミッドプレーンにおける基本波共鳴加熱、QUESTにおける中心加熱のため、14GHzジャイロトロン設計を開始した。28GHzとの2周波数発振は良いモードの組合せが無いため、14GHz単独モード発振とし、空洞共振器、電子銃、電子ビーム軌道を考慮した結果、発振モードは $TE_{4,2}$ モードに決定した。2014年度は、電子銃の設計を進め構造を確定した。今後、製作に向けて各部の設計を詰めていく予定である。

### (4) 154GHz ジャイロトロン開発

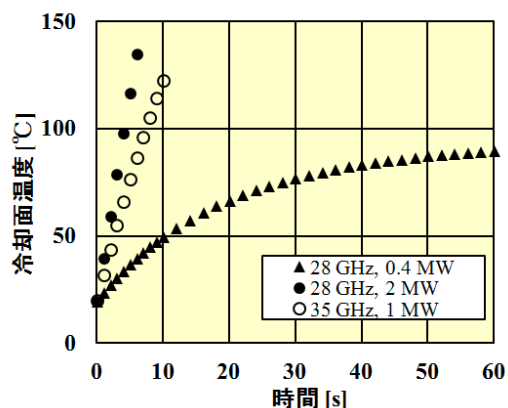


図1 ダブルディスク窓温度の時間変化

NIFS とのジャイロトロン共同研究において、2013年度までに、77GHz ジャイロトロン3本と 154GHz ジャイロトロン1本を開発してきた。開発したジャイロトロンは、LHD 実験に適用され $\sim 0.2 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ の低密度では20keV、 $1 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ の電子密度では8.6keVの中心電子温度を達成、電子バーンシュタイン波(EBW)での $14.7 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ の遮断密度以上の高密度プラズマ加熱の確認、 $1 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ プラズマの長時間維持達成等の成果を上げてきた。2014年度は、2013年度に製作した154GHz ジャイロトロン2号管の性能評価試験を実施した。図2に出力 $P_o$ と効率 $\eta$ のビーム電流 $I_k$ 依存性を示す。1号機( $I_k=58.4\text{A}$ で $P_o=1.02\text{MW}$ 、1号機改造管 $I_k=60.5\text{A}$ で $P_o=1.25\text{MW}$ )に比べ効率が改善され、ビーム電流 $I_k=50.8\text{A}$ で、出力 $P_o=1.17\text{MW}$ を得た。LHD 実験スケジュールのため、MOU 取付け調整、長パルス動作確認に移行する必要がある、これ以上の電流アップは行わなかったが、もう少しビーム電流をあげれば、目標出力1.2MWの達成は容易である。長パルス・エージングは0.22MW-3sまで行き、LHD 実験に適用された。LHD 実験では、154GHzの加熱電力増強により、従来より高い平均密度 $2 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ で、10keVの電子温度が達成された。

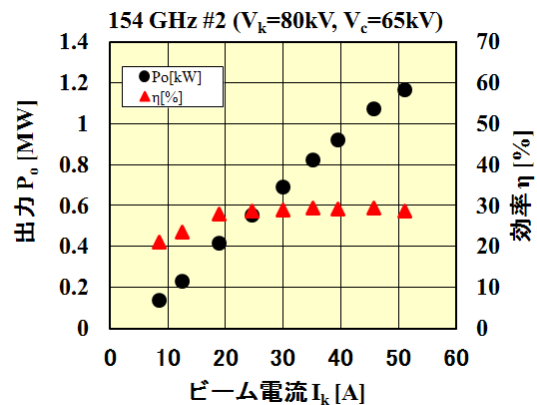


図2 出力と効率のビーム電流依存性

### (5) 300GHz ジャイロトロンの開発研究

核融合発電に向け、Demo 炉の開発が検討されている。Demo 炉においては、高磁場中において高密度プラズマを加熱する必要があり、サブテラヘルツ帯のジャイロトロンが必要とされる。そこで、日本原子力研究開発機構(JAEA)との共同研究として、300GHz ジャイロトロンの開発を開始した。

初期性能試験は、筑波大学プラズマ研究センターのジャイロトロン試験装置で実施した。図3に試験状況の写真と300GHz ジャイロトロン/超電導電磁石(SCM)の断面図を示す。図4に出力と効率のビーム電流依存性を示す。初期実験結果として、ビーム電流 $I_k=36.8\text{A}$ で出力 $P_o=527\text{kW}$ が得られた。周波数は301.8GHzで、バーンパターンで測定した出力RFの電力分布より、 $TE_{30,19}$ であると考えられる。300GHz帯における500kWを超えるmsオーダーの発振は、世界で最初の成果であり、Demo 炉の300GHz-MW-CW ジャイロトロン開発に向けての大きなステップである。今後、更に詳細に試験を進める予定である。

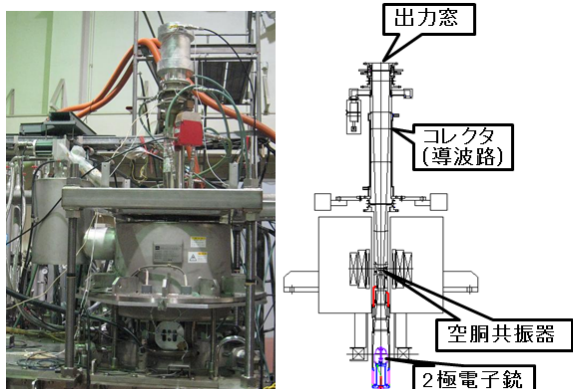


図3 300GHz ジャイロトロン試験状況と断面図

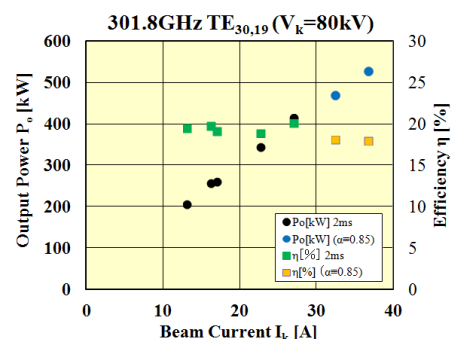


図4 出力と効率のビーム電流依存性

### 【13】核融合アーカイブズにおける筑波大学プラズマグループとしての活動

核融合研究界におけるミラー研究の拠点であるため、関連史料の保管に努めているが、学界でアーカイブの必要性が求められている。平成17年度より核融合科学研究所アーカイブ共同研究に加わったことで、一

層体系的に整理保管する体制が整った。登録管理システムは核融合科学研究所の書式に倣った。原則公開できる紙史料は随時増え、現在も新たに加わった史料の登録を続けている。測定器等のアーカイブについては京都大学を手本に検討している。収集も併行して行って、整理している。歴史資料に対する大学の意識の高揚を望む。歴史資料の利用は検索調査、利用が130件余りあった。12月18・19日共同研究会に出席し、さらなる情報収集を行った。

#### 〈論文〉

01. H.Matsuura, K.Nagaoka, T.Morisaki, S.Masuzaki, M.Osakabe, H.Tanaka,  
A new deduction method of heat flux evolution from thermal probe data,  
*Contributions to Plasma Physics* **54**, 3 (2014) 285-290.
02. X. Wang, A. Mase, H. Ikezi, M. Inutake, Y. Kogi and K. Uchino,  
Synthetic aperture radar using ultra-wideband microwave-modulated laser,  
*Journal of Electromagnetic Waves and Applications* **28**, 11 (2014) 1275-1281.
03. H. Nakanishi, M. Ohsuna, M. Kojima, S. Imazu, M. Nonomura, *et al.*,  
Revised cloud storage structure for light-weight data archiving in LHD,  
*Fusion Engineering and Design* **89**, 5 (2014) 707.
04. H. Takahashi, T. Shimozuma, S. Kubo, Y. Yoshimura, H. Igami, S. Ito, S. Kobayashi, Y. Mizuno, K. Okada, T. Mutoh,  
K. Nagaoka, S. Murakami, M. Osakabe, I. Yamada, H. Nakano, M. Yokoyama, T. Ido, A. Shimizu, R. Seki, K. Ida,  
M. Yoshinuma, T. Kariya, R. Minami, T. Imai,  
Extension of high Te regime with upgraded electron cyclotron resonance heating system in the Large Helical Device,  
*Physics of Plasmas* **21** (2014) 061506.
05. X. Wang, I. Sakagami, A. Mase and M. Ichimura,  
Trantarella Wilkinson power divider with additional transmission lines for simple layout,  
*IET Microwaves antennas & propagation* **8**, 9 (2014) 666-672.
06. Masayuki YOSHIKAWA, Ryo YASUHARA, Kazuhide NAGASU, Yuuki SHIMAMURA, Yoriko SHIMA,  
Junko KOHAGURA, Mizuki SAKAMOTO, Yousuke NAKASHIMA, Tsuyoshi IMAI, Makoto ICHIMURA,  
Ichihiro YAMADA, Hisamichi FUNABA, Kazuo KAWAHATA and Takashi MINAMI,  
First Results of Electron Temperature Measurements with a Multi-Pass Thomson Scattering System in the Tandem  
Mirror GAMMA 10,  
*Plasma and Fusion Research* **9** (2014) 1202126.
07. R. Minami, T. Imai, T. Kariya, T. Numakura, T. Eguchi, R. Kawarasaki, K. Nakazawa, T. Kato, F. Sato, H. Nanzai,  
M. Uehara, Y. Endo, M. Hirata, M. Ichimura, R. Ikezoe, I. Katanuma, J. Kohagura, Y. Nakashima, K. Oki, M.  
Sakamoto, M. Yoshikawa and GAMMA 10 Group,  
Generation and Control of High Intermittent Heat Load Pattern for Divertor Simulation Studies in GAMMA 10  
Tandem Mirror,  
*Plasma and Fusion Research* **9** (2014) 3402116.
08. I. Sakagami, M. Tahara and X. Wang,  
Realization of a Planar Dual-Band Fork Three-Way Power Divider Using an Impedance Scale Factor,  
*IEICE Transactions on Electronics* **E97-C**, 10 (2014) 948-956.
09. Y. Kogi, T. Higashi, S. Matsukawa, A. Mase, J. Kohagura, Y. Nagayama, K. Kawahata, D. Kuwahara, and M.  
Yoshikawa,  
Validation experiment of a numerically processed millimeter-wave interferometer in a laboratory,  
*Review of Scientific Instruments* **85** (2014) 11D411.
10. M. Yoshikawa, R. Yasuhara, K. Nagasu, Y. Shimamura, Y. Shima, J. Kohagura, M. Sakamoto, Y. Nakashima, T.  
Imai, M. Ichimura, I. Yamada, H. Funaba, K. Kawahata, and T. Minami,  
First results of electron temperature measurements by the use of multi-pass Thomson scattering system in GAMMA  
10,  
*Review of Scientific Instruments* **85** (2014) 11D801.
11. D. Kuwahara, N. Ito, Y. Nagayama, T. Yoshinaga, S. Yamaguchi, M. Yoshikawa, J. Kohagura, S. Sugito, Y. Kogi,  
and A. Mase,  
Development of horn antenna mixer array with internal local oscillator module for microwave imaging diagnostics,  
*Review of Scientific Instruments* **85** (2014) 11D805.
12. R. Minami, T. Imai, T. Kariya, T. Numakura, T. Eguchi, R. Kawarasaki, K. Nakazawa, T. Kato, F. Sato, H. Nanzai,  
M. Uehara, Y. Endo and M. Ichimura,  
Soft X-ray Intensity Profile Measurements of Electron Cyclotron Heated Plasmas Using Semiconductor Detector  
Arrays in GAMMA 10 Tandem Mirror,  
*Review of Scientific Instruments* **85** (2014) 11D807.
13. X. Wang, I. Sakagami, Z. Ma, A. Mase, and M. Yoshikawa,

- Generalized, Miniaturized, Dual-Band Wilkinson Power Divider with a Parallel RLC Circuit,  
International Journal of Electronics and Communications (AEÜ) **69** (2014) 418-423.
14. X. Wang, Z. Ma and M. Yoshikawa,  
Coupled microstrip line Wilkinson power divider with compensating capacitor,  
Microwave and Optical Technology Letters **57**, 2 (2015) 328-332.
15. Y. Togo, T. Katsura, H. Takeno, Y. Yasaka, K. Ichimura, Y. Nakashima,  
Experimental Study on the Constant Deceleration Scheme in Traveling Wave Direct Energy Converter,  
Plasma and Fusion Research **10** (2015) 3405013.
16. X. Wang, I. Sakagami, Z. Ma, A. Mase, M. Yoshikawa and M. Ichimura,  
Miniaturized Dual-Band Wilkinson Power Divider with Self-compensation Structure,  
IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology **5**, 3 (2015) 389-397.

## 〈学位論文〉

### 学位論文 (博士) [数理物質科学研究科]

01. 市村 和也 [博士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]  
Study of End-loss Ion Flux in the GAMMA 10/PDX Tandem Mirror for Divertor Simulation
02. 武田 寿人 [博士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]  
Numerical Simulation Study of Plasma Flow in the GAMMA 10/PDX End-cell by Using a Fluid Code
03. 横山 拓郎 [博士 (工学), 数理物質科学研究科電子・物理工学専攻]  
Optimization of Ion-Cyclotron Range of Frequency Wave Heating in the Minimum-B Configuration on GAMMA 10

### 学位論文 (修士) [数理物質科学研究科]

04. 岩元 美樹 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]  
GAMMA 10/PDX エンド部におけるカロリメーターを用いた熱流計測
05. 加藤 敬輝 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]  
ECH 用 2 周波数ジャイロトロンの開発及び、GAMMA 10/PDX における ECH 印加時の端損失電子流束計測
06. 窪田 遼人 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]  
低密度プラズマ内で発生するフルート不安定性に関する粒子シミュレーション
07. 野原 涼 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]  
GAMMA10/PDX 西エンド部における HeI 線強度比計測及び H $\alpha$  線空間分布計測によるプラズマ診断
08. 細田 甚成 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]  
GAMMA 10/PDX エンド部における不純物ガス入射実験による非接触プラズマの生成と分光計測
09. 森下 雅央 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]  
GAMMA 10/PDX における多チャンネル H $\alpha$  線計測器を用いたトモグラフィー計測
10. 吉川 基輝 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]  
GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬実験における静電プローブを用いたイオン温度の評価
11. 加藤 俊介 [修士 (理学), 数理物質科学研究科物理学専攻]  
GAMMA10 磁場配位におけるフルート揺動に関する MHD シミュレーション

### 学位論文 (学士)

12. 遠藤 勇樹 [学士 (理学), 物理学類]  
GAMMA 10/PDX における D-module へのガス入射時のセントラル部のプラズマ電子密度測定
13. 太田 晃一 [学士 (理学), 物理学類]  
GAMMA 10 Thomson 散乱計測システムのマルチパス化
14. 景崎 大喜 [学士 (理学), 物理学類]  
GAMMA10 エンドロスに関する数値解析
15. 神川 豊 [学士 (理学), 物理学類]  
水素及びヘリウムガス導入時のダイバータ模擬実験における電子密度計測
16. 後藤 礼於奈 [学士 (理学), 物理学類]  
GAMMA1 O セントラル部 ECH 時の軟 X 線による電子温度分布計測の研究
17. 田中 裕樹 [学士 (理学), 物理学類]  
重水素プラズマ照射された ITER-grade タングステンと再結晶タングステンの重水素吸蔵量評価
18. 津村 康平 [学士 (理学), 物理学類]  
サブテラヘルツ帯 300GHz ジャイロトロン性能評価試験
19. 戸澤 悠 [学士 (理学), 物理学類]  
GAMMA 10 におけるイオン飽和電流及び浮遊電位の高速駆動プローブを用いた計測
20. 成田 昂平 [学士 (理学), 物理学類]

GAMMA 10におけるエンド部ターゲット板抵抗替えによるセントラル部電位制御と金中性粒子ビームプローブを用いた揺動計測

21. 丹羽 良之 [学士 (理学), 物理学類]  
紫外・可視分光システムを用いた GAMMA10 セントラル部の分光計測
22. 福井 良磨 [学士 (理学), 物理学類]  
プラズマ壁相互作用研究のためのイオン源及びターゲット観測系の開発に関する研究
23. ジャン ソウォン [学士 (理学), 物理学類]  
GAMMA10 におけるプラグ/バリア部共鳴高周波印加時のイオン加熱効果の解析
24. 今村 優佑 [学士 (工学), 応用理工学類]  
ビームプラズマ不安定性に関する数値シミュレーション
25. 竹山 紘平 [学士 (工学), 応用理工学類]  
GAMMA10 セントラル部における 2ch マイクロ波反射計を用いたプラズマ中の高周波波動計測

#### <講演>

01. H. Idei, T. Kariya, H. Zushi, K. Hanada, T. Imai, O. Watanabe, K. Mishra,  
Non-inductive Current Drive Experiments using 28 GHz Electron Cyclotron Waves in QUEST,  
18th Joint Workshop on Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Resonance Heating (Nara,  
2014.4.22-2014.4.25).
02. H. Nakanishi, M. Ohsuna, M. Kojima, S. Imazu, M. Nonomura, M. Emoto, M. Yoshida, C. Iwata, K. Ida,  
Realtime Data Streaming and Storing Structure for LHD's Fusion Plasma Experiments,  
19th IEEE/NPSS Real Time Conference (Nara, 2014.5.26-2014.5.30) DAQ4-3.
03. A. Kuzmin, H. Zushi, I. Takagi, S.K. Sharma, Y. Hirooka, H. Zhou, M. Kobayashi, M. Sakamoto, K. Hanada, N.  
Yoshida, K. Nakamura, A. Fujisawa, K. Matsuoka, H. Idei, Y. Nagashima, M. Hasegawa, T. Onchi, S. Banerjee, K.  
Mishra,  
Global gas balance and influence of atomic hydrogen irradiation on the wall inventory in steady-state operation of  
QUEST tokamak,  
21st International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (Kanazawa,  
2014.5.26-2014.5.30) P1-051.
04. M. Sakamoto, K. Oki, Y. Nakashima, M. Yoshikawa, R. Nohara, Y. Nagatsuka, A. Terakado, K. Hosoi, K. Ichimura,  
H. Takeda, K. Nojiri, M. Yoshikawa, T. Imai, M. Ichimura,  
Hydrogen recycling at a V-shaped tungsten target in GAMMA 10/PDX,  
21st International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (Kanazawa,  
2014.5.26-2014.5.30) P1-077.
05. Y. Nakashima, H. Takeda, K. Ichimura, K. Hosoi, K. Oki, M. Sakamoto, M. Hirata, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Imai,  
M. Iwamoto, Y. Hosoda, I. Katanuma, T. Kariya, S. Kigure, J. Kohagura, R. Minami, T. Numakura, S. Takahashi, M.  
Yoshikawa, N. Asakura, M. Fukumoto, A. Hatayama, Y. Hirooka, S. Kado, H. Kubo, S. Masuzaki, H. Matsuura, S.  
Nagata, N. Nishino, N. Ohno, A. Sagara, T. Shikama, M. Shoji, A. Tonegawa, Y. Ueda,  
Progress of divertor simulation research toward the realization of detached plasma using a large tandem mirror  
device,  
21st International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (Kanazawa,  
2014.5.26-2014.5.30) P1-091.
06. R. Minami, T. Imai, T. Kariya, T. Numakura, T. Eguchi, R. Kawarasaki, K. Nakazawa, T. Kato, F. Sato, H. Nanzai ,  
M. Uehara, Y. Endo, and M. Ichimura,  
Soft x-ray intensity profile measurements of electron cyclotron heated plasmas using semiconductor detector arrays in  
GAMMA 10 tandem mirror,  
20th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics (Atlanta, USA, 2014.6.1-2014.6.5) 2.2.30.
07. D. Kuwahara, N. Ito, Y. Nagayama, T. Yoshinaga, S. Yamaguchi, M. Yoshikawa, J. Kohagura, S. Sugito, Y. Kogi,  
and A. Mase,  
Development of horn antenna mixer array with internal local oscillator module for microwave imaging diagnostics,  
20th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics (Atlanta, USA, 2014.6.1-2014.6.5) 1.2.08.
08. M. Yoshikawa, R. Yasuhara, K. Nagasu, Y. Shimamura, Y. Shima, J. Kohagura, M. Sakamoto, Y. Nakashima, T.  
Imai, M. Ichimura, I. Yamada, H. Funaba, K. Kawahata, and T. Minami,  
First Results of Electron Temperature Measurements by Using the Multi-Pass Thomson Scattering System in  
GAMMA 10,  
20th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics (Atlanta, USA, 2014.6.1-2014.6.5) 2.2.12.
09. M. Sakamoto and the GAMMA 10/PDX Group,  
Divertor Simulation and Plasma-Wall Interaction Studies in University of Tsukuba,  
J-US workshop on Heat Removal and Plasma-Materials Interactions for Fusion (Kyoto, 2014.6.4-2014.6.5).



10. I.Katanuma, R.Kubota and G.Oda,  
Particle simulation of an interchange instability with ExB shear flow,  
41th European Physical Society Conference on Plasma Physics (Berlin, Germany, 2014.6.23-2014.6.27) P4.016.
11. S. Kubo , T. Shimozumma, Y. Yoshimura, M. Nishiura, H. Igami, H. Takahashi, T. Ii, T. Mutoh, R. Minami, T. Kariya, T. Imai, K. Tanaka, Y. Tatematsu, T. Saito,  
Application of high power and long pulse gyrotrons to LHD plasmas,  
The 9th International Workshop “Strong Microwaves and Terahertz Waves” (Nizhny Novgorod, Russia, 2014.7.24-2014.7.30).
12. M. Ichimura, T. Imai, Y. Nakashima. M. Sakamoto, I. Katanuma, M. Yoshikawa, T. Kariya, M. Hirata, J. Kohagura, R. Minami, T. Numakura, R. Ikezoe, K. Oki, X. Wang,  
Present Status of GAMMA 10/PDX Project,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea, 2014.8.26-2014.8.29) OS1-01.
13. Y. Nakashima, M. Sakamoto, H. Takeda, K. Ichimura, Y. Hosoda, M. Iwamoto, K. Shimizu, K. Hosoi, K. Oki, M. Yoshikawa, M. Hirata, R. Ikezoe, T. Imai, T. Kariya, I. Katanuma, J. Kohagura, R. Minami, T. Numakura, X. Wang and M. Ichimura,  
RECENT RESULTS OF DIVERTOR SIMULATION EXPERIMENTS USING D-MODULE IN THE GAMMA 10/PDX TANDEM MIRROR,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea, 2014.8.26-2014.8.29) OS3-02.
14. K. Nojiri, M. Sakamoto, K. Oki, M. Yoshikawa, Y. Nakashima, M. Yoshikawa, A. Terakado, R. Nohara, M. Mizuguchi, T. Imai and M. Ichimura,  
Relation Between Electron density and Temperature of Divertor Simulation Plasma and Upstream Plasma in GAMMA 10/PDX,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea, 2014.8.26-2014.8.29) OS4-01.
15. H. Tanaka, M. Sakamoto, K. Furutachi, K. Oki, M. Mizuguchi, Y. Nagatsuka, M. Yoshikawa, R. Nohara, M. Yoshikawa, J. Kohagura, N. Ohno, and Y. Tsuji,  
CORRELATION ANALYSIS OF CORE AND EDGE DENSITY FLUCTUATIONS IN THE GAMMA 10 TANDEM MIRROR DEVICE,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea, 2014.8.26-2014.8.29) OS4-04.
16. I.Katanuma, R.Kubota, G.Oda, Y.Imamura, and D.Kagesaki,  
Numerical study of the interchange instability in an open system,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea, 2014.8.26-2014.8.29) OS4-06.
17. R.Kubota, I.Katanuma, G.Oda,  
Particle simulation of the Flute instability in the low density plasma,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea, 2014.8.26-2014.8.29) OS4-08.
18. G.Oda, I.Katanuma, Y.Okuyama, R.Kubota, Y.Imamura, D.Kagesaki,  
Numerical Simulation of Drift waves in Open-Ended Magnetized Plasma,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea, 2014.8.26-2014.8.29) OS4-09.
19. T. Yokoyama, M. Ichimura, A. Fukuyama, S. Sumida, M. Hirata, R. Ikezoe, Y. Iwamoto, T. Okada, K. Takeyama, S. Jang, T. Oi,  
Analysis of wave excitation of the phase-control ICRF antennas with three dimensional full wave code on GAMMA 10,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea, 2014.8.26-2014.8.29) OS4-12.
20. X. Wang, S. Kanno, J. Kohagura, M. Yoshikawa, Y. Shima, Y. Nakashima, M. Sakamoto, K. Oki, T. Imai, M. Ichimura, Y. Nagayama, D. Kuwahara and A. Mase,  
A novel frequency-multiplied interferometer system with 1-D Horn-Antenna Mixer Array in the GAMMA 10/PDX end divertor module,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea, 2014.8.26-2014.8.29) OS4-14.
21. Y. Morikawa, M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima, S. Kanno, T. Shiraishi, M. Iso, T. Imai and M. Ichimura,  
Density fluctuation measurements in the GAMMA 10 central cell by using the Fraunhofer diffraction method,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea, 2014.8.26-2014.8.29) OS4-15.
22. M. Yoshikawa, M. Sakamoto, K. Oki, K. Nojiri, A. Terakado, K. Ichimura, M. Yoshikawa, Y. Nakashima, M.

- Mizuguchi, R. Nohara, T. Imai, and M. Ichimura,  
Evaluation of Ion Temperature of Divertor Simulation Plasma Using a Langmuir Probe in GAMMA 10/PDX,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS4-17.
23. T. Okada, R. Ikezoe, M. Ichimura, M. Hirata, T. Yokoyama, Y. Iwamoto, S. Sumida, K. Takeyama, S. Jang, T. Oi, M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima,  
Internal measurement of propagation of ICRF waves by using reflectometers on GAMMA10,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS4-20.
  24. K. Fujita, Y. Togo, S. Nakamoto, H. Takeno, Y. Yasaka, K. Ichimura, Y. Nakashima,  
Analysis of Particle Distribution due to Modulation in Traveling Wave Direct Energy Converter,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS4-24.
  25. K. Ichimura, Y. Nakashima, H. Takeda, M. Iwamoto, Y. Hosoda, K. Shimizu, M. Hirata, R. Ikezoe, T. Yokoyama, K. Oki, M. Yoshikawa, M. Sakamoto, T. Imai and M. Ichimura,  
Study of the end-loss ion flux of GAMMA 10/PDX experiments with an additional ICRF wave,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS4-27.
  26. S. Sumida, M. Ichimura, T. Yokoyama, M. Hirata, R. Ikezoe, Y. Iwamoto, T. Okada, K. Takeyama, S. Jang, T. Oi, M. Sakamoto, Y. Nakashima, M. Yoshikawa, R. Minami, K. Oki, M. Mizuguchi, K. Ichimura,  
High-density plasma production in the GAMMA10 central cell with ICRF heating on both anchor cells,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS4-28.
  27. R. Minami, T. Imai, T. Kariya, T. Numakura, T. Kato, M. Uehara, R. Goto, K. Tsumura, Y. Endo and M. Ichimura,  
Design of Mirror Antenna and MW Gyrotron for Control of High Intermittent Heat Flux in GAMMA 10 Tandem Mirror,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS4-34.
  28. T. Kariya, R. Minami, T. Imai, T. Kato, H. Idei, K. Hanada, H. Zushi, T. Numakura, Y. Endo, M. Ichimura,  
Development of 28 GHz gyrotron for cooperative ECH study,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS4-35.
  29. T. Kato, T. Kariya, T. Imai, R. Minami, T. Numakura, T. Eguchi, M. Uehara, K. Sakamoto, M. Ichimura,  
Development of 28 GHz /35 GHz Dual-Frequency Gyrotron,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS4-37.
  30. A. Terakado, M. Sakamoto, K. Oki, M. Yoshikawa, R. Nohara, K. Nojiri, Y. Nakashima, M. Mizuguchi, M. Ichimura,  
Spatial distribution of H $\alpha$  line intensity in front of the V-shaped target in GAMMA 10/PDX,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS4-39.
  31. R. Ikezoe, M. Ichimura, M. Hirata, T. Yokoyama, Y. Iwamoto, T. Okada, S. Sumida, K. Takeyama, S. Jang, T. Oi, K. Ichimura, Y. Nakashima,  
Extension of operational regimes with ICRF heating on GAMMA 10/PDX,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS6-02.
  32. T. Numakura, T. Imai, T. Kariya, R. Minami, T. Kato, and M. Uehara,  
Code Development for the Calculations of the Multi-frequency Oscillations and Startup in the Cavity of the Future High-Power Gyrotrons,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS6-04.
  33. Masayuki Yoshikawa, Xiaolong Wang, Masahiro Morishita, Yoriko Shima, Masayuki Chikatsu, Junko Kohagura, Mizuki Sakamoto, Ryutaro Minami, Masaki Iso, Yousuke Nakashima, Tsuyoshi Imai, Makoto Ichimura, Ryo Yasuhara, Ichihiro Yamada, Hisamichi Funaba, and Takashi Minami,  
DEVELOPMENT OF THOMSON SCATTERING SYSTEM IN GAMMA 10,  
The 10th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (Daejeon, Korea,  
2014.8.26-2014.8.29) OS7-01.
  34. Keishi Sakamoto, Yasuhisa Oda, Tsuyoshi Kariya, Ryutaro Minami, Ryosuke Ikeda, Ken Kajiwara, Koji Takahashi, Kazuo Hayashi, Tsuyoshi Imai,  
Preliminary result of 300GHz short pulse high order mode gyrotron,  
39th Int. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (Tucson, USA, 2014.9.14-2014.9.19) W5-6.
  35. Y. Nakashima, M. Sakamoto, M. Yoshikawa, K. Oki, H. Takeda, K. Ichimura, K. Hosoi, M. Hirata, M. Ichimura, R.

- Ikezoe, T. Imai, T. Kariya, I. Katanuma, J. Kohagura, R. Minami, T. Numakura, X. Wang, M. Iwamoto, Y. Hosoda, N. Asakura, M. Fukumoto, A. Hatayama, Y. Hirooka, S. Kado, H. Kubo, S. Masuzaki, H. Matsuura, S. Nagata, N. Nishino, N. Ohno, A. Sagara, T. Shikama, M. Shoji, A. Tonegawa, Y. Ueda,  
Development of Divertor Simulation Research in the GAMMA 10/PDX Tandem Mirror,  
25th IAEA Fusion Energy Conference (St. Petersburg, Russia, 2014.10.13-2014.10.18) FIP-P8-10.
36. I.Katanuma, S.Kato, Y.Okuyama, S.Sato, R.Kubota,  
A Flute Instability under the ExB Shear Flow in an Open System,  
25th IAEA Fusion Energy Conference (St. Petersburg, Russia, 2014.10.13-2014.10.18) TH/P1-17.
37. T. Imai, T. Kariya, R. Minami, T. Numakura, T. Eguchi, T. Kato, Y. Endo, M. Ichimura, T. Shimozuma, S. Kubo, H. Takahashi, Y. Yoshimura, H. Igami, S. Ito, T. Mutoh, K. Sakamoto, H. Idei, H. Zushi, K. Nagasaki, F. Sano, M. Ono, Y. Mitsunaka,  
Development of Over 1 MW and Multi-Frequency Gyrotrons for Fusion,  
25th IAEA Fusion Energy Conference (St. Petersburg, Russia, 2014.10.13-2014.10.18) FIP/2 2Rc.
38. H. Idei, T. Kariya, T. Imai, K. Mishra, O. Watanabe, H. Zushi, K. Hanada, T. Onchi, A. Ejiri, K. Nakamura, A. Fujisawa, Y. Nagashima, M. Hasegawa, K. Matsuoka, A. Fukuyama, S. Kubo, T. Shimozuma, M. Yoshikawa, M. Sakamoto, S. Kawasaki, H. Nakashima, A. Higashijima, S. Ide, T. Maekawa, Y. Takase, K. Toi,  
Fully Non-inductive Current Drive Experiments using 28 GHz and 8.2 GHz Electron Cyclotron Waves in QUEST,  
25th IAEA Fusion Energy Conference (St. Petersburg, Russia, 2014.10.13-2014.10.18) EX/P1-38.
39. R. Ikezoe, M. Ichimura, T. Okada, M. Hirata, T. Yokoyama, Y. Iwamoto, S. Sumida, K. Takeyama, S. Jang, T. Oi, M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima,  
On the nonlinear couplings among ICRF waves observed in GAMMA 10,  
56th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (New Orleans, US, 2014.10.27-2014.10.31) BP8.00056s.
40. Naoki ITO, Daisuke KUWAHARA, Yoshio NAGAYAMA, Masayuki YOSHIKAWA, Junko KOHAGURA, Shoji SUGITO, Atsushi MASE, Yuichiro KOGI, Tomokazu YOSHINAGA, and Soichiro YAMAGUCHI,  
Development of multi-channel Horn Mixer Array for Microwave Imaging Plasma Diagnostics,  
24th International Toki Conference (Toki, Gifu, 2014.11.4-2014.11.7) P6-31.
41. T.Kuwabara, H.Tanaka, G.Kawamura, N.Ohno, M.Kobayashi, Y.Feng,  
EMC3-Eirene simulation modeling of linear divertor plasma simulators,  
24th International Toki Conference (Toki, Gifu, 2014.11.4-2014.11.7) P4-60.
42. Y. Tomita, T. Watanabe, H. Takeno, Y. Yasaka, K. Ichimura, Y. Nakashima,  
Design and Performance Examination of a New CuspDEC Simulator Using Permanent Magnets,  
24th International Toki Conference (Toki, Gifu, 2014.11.4-2014.11.7) P6-32.
43. Y. Togo, T. Katsura, H. Takeno, Y. Yasaka, K. Ichimura, Y. Nakashima,  
Studies on Miniaturization of Traveling Wave Direct Energy Converter in the View Point of Deceleration Effect,  
24th International Toki Conference (Toki, Gifu, 2014.11.4-2014.11.7) P6-33.
44. Xiaolong Wang, Iwata Sakagami and Masayuki Yoshikawa,  
Planar Dual-Band Fork Three-Way Power Dividers with Inductor-Terminated Transmission Lines,  
28th Asia Pacific Microwave Conference (Sendai International Center, Sendai, 2014.11.4-2014. 11.7).
45. X. Wang, I. Sakagami and M. Yoshikawa,  
Planar Dual-Band Fork Three-Way Power Dividers with Inductor-Terminated Transmission Lines,  
Proc. 2014 Asia-Pacific Microwave Conference (Sendai, 2014.11.4-2014. 11.7) 825-827.
46. R. Ikezoe, M. Ichimura, T. Okada, K. Takeyama, M. Hirata, T. Yokoyama, Y. Iwamoto, S. Shuhei, J. Seowon, M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima,  
Measurement of density fluctuation of ICRF waves using a reflectometer in GAMMA 10,  
KSTAR Conference 2015 (Daejeon, Korea, 2015.2.25-2015. 2.27).
47. T. Ii, S. Kubo, T. Shimozuma, Y. Yoshimura, H. Igami, H. Takahashi, K. Ida, C. Suzuki, M. Emoto, R. Seki, T. Kobayashi, C. Moon, S. Kobayashi, S. Ito, Y. Mizuno, K. Okada, R. Makino, K. Kobayashi, Y. Goto, R. Minami, T. Kariya, T. Imai, and T. Mutoh,  
Recent upgrade of the ECH system and ray tracing calculations for ECH experiments in LHD,  
日韓加熱・電流駆動ワークショップ (Daejeon, Korea, 2015.2.26-2015. 2.27).
48. T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Tani, K. Yamamoto, M. Hangyo, H. Kitahara, J. Kohagura, M. Yoshikawa, H. Idei, M. Nishiura, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata,  
Developments of Pulsed Terahertz Wave Diagnostics for Magnetically Confined Fusion Plasma,  
The 5th International Workshop on Far-Infrared Technologies 2014 (IW-FIRT2014) (University of Fukui, Fukui, Japan, 2014.3.5-2014.3.7).
49. T. Tokuzawa, Y. Kadoya, M. Tani, K. Yamamoto, M. Hangyo, H. Kitahara, J. Kohagura, M. Yoshikawa, H. Idei, M. Nishiura, K. Tanaka, I. Yamada, and K. Kawahata,  
テラヘルツ波パルスの大型高温プラズマ計測への適用に関する研究,  
レーザー研シンポジウム 2014, (大阪大学銀杏会館, 2014.4.16-2014.5.2).
50. 市村 真, 池添竜也,

- ミラー磁場中のアルベン波動の自発励起とイオンとの相互作用,  
日本地球惑星科学連合 2014 年大会, (横浜パシフィコ, 2014.4.28-2014.4.17) P-EM29-01.
51. 市村 真,  
核融合炉に向けた筑波大学の境界プラズマ研究と加熱装置開発の現状と展望,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) K1.
  52. 小林進二, 水内 亨, 中嶋洋輔, 長崎百伸, 岡田浩之, 南 貴司, 門信一郎, 山本 聡, 大島慎介, Lee Hyun Yong, 釦持尚輝, 渡邊清政, 關 良輔, 村上定義, ZANG Linge, 田中謙治, 鈴木康浩, 向井清史, 中村祐司, 木島 滋, 佐野史道,  
ヘリオトロン J における新しいガス供給法に基づく高密度プラズマ運転,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-018.
  53. 南 龍太郎, 今井 剛, 假家 強, 沼倉 友晴, 加藤 敬輝, 上原 真, 遠藤 洋一, 池添 竜也, 市村 真, 王 小龍, 大木 健輔, 片沼 伊佐夫, 小波蔵 純子, 坂本 瑞樹, 中嶋 洋輔, 平田 真史, 吉川 正志, GAMMA10 グループ,  
ELM 模擬に向けた ECH 入射電力変調/位置制御による高熱流束生成の基礎実験,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-028.
  54. 上原真, 今井剛, 中澤和寛, 河原崎遼, 沼倉友晴, 南龍太郎, 假家強, 加藤敬輝, 遠藤洋一, 市村真, GAMMA10/PDX における セントラル部 ECH ブロードアンテナによる電子加熱特性の研究,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-029.
  55. 隅田 脩平, 市村 真, 横山 拓郎, 平田 真史, 池添 竜也, 岩本 嘉章, 岡田 拓也, 坂本 瑞樹, 中嶋 洋輔, 吉川 正志, 南 龍太郎, 大木 健輔, 水口 正紀, 市村 和也,  
GAMMA10 アンカー部及びバリア部 ICRF 加熱によるセントラル部プラズマの高密度化,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-030.
  56. 横山 拓郎, 市村 真, 福山 淳, 隅田 脩平, 平田 真史, 池添 竜也, 岩本 嘉章, 岡田 拓也,  
GAMMA10 における高周波アンテナ間位相制御時の波動解析,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-031.
  57. 岡田拓也, 市村 真, 池添竜也, 平田真史, 横山拓郎, 岩本嘉章, 隅田脩平, 嶋頼子, 小波蔵純子, 吉川正志,  
マイクロ波反射計で計測した GAMMA 10 プラズマ内部領域における ICRF 波動の振る舞い,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-032.
  58. 池添竜也, 市村 真, 岡田拓也, 平田真史, 横山拓郎, 岩本嘉章, 隅田脩平, 嶋 頼子, 小波蔵純子, 吉川正志,  
GAMMA 10 における自発励起 ICRF 波動の構造計測と高速イオン損失への影響,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-033.
  59. 水口正紀, 坂本瑞樹, 古館謙一, 金史良, 武田寿人, 市村和也, 大木健介, 中嶋洋輔, 吉川正志, 今井剛, 市村真,  
GAMMA10 エンド領域におけるターゲットプレートの接地抵抗替による電位形成と低周波揺動の発生,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-034.
  60. 森下雅央, 吉川正志, 北川和, 長洲和英, 島村侑希, 嶋頼子, 小波蔵純子, 坂本瑞樹, 今井剛, 市村真,  
GAMMA10 セントラル部における 2 次元 H $\alpha$  線放射分布計測,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-035.
  61. 加藤敬輝, 假家強, 今井剛, 南龍太郎, 沼倉友晴, 江口濯, 上原真, 坂本慶司, 市村真,  
28 GHz/35 GHz 2 周波数ジャイロトロンの開発,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-053.
  62. 沼倉友晴, 今井剛, 假家強, 南龍太郎, 加藤敬輝, 上原真,  
マルチ周波数ジャイロトン発振計算のための計算コード開発,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-054.
  63. 市村 和也, 中嶋 洋輔, 武田 寿人, 細井 克洋, 岩元 美樹, 細田 甚成, 清水 啓太, 平田 真史, 池添 竜也, 大木 健輔, 吉川 正志, 坂本 瑞樹, 今井 剛, 市村 真,  
GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬実験に向けた端損失粒子フラックスの制御,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-061.
  64. 野尻訓平, 坂本瑞樹, 大木健輔, 吉川正志, 中嶋洋輔, 長塚優, 吉川基輝, 寺門明紘, 野原涼, 水口正紀, 古館謙一, 金史良, 今井剛, 市村真,  
GAMMA10/PDX におけるダイバータ模擬プラズマの電子密度及び電子温度と上流プラズマとの関係,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-062.
  65. 寺門明紘, 坂本 瑞樹, 大木 健輔, 長塚 優, 吉川 基輝, 野原 涼, 野尻 訓平, 中嶋 洋輔, 細井 克洋, 木暮 諭, 水口 正紀, 古館 謙一, 金 史良,  
GAMMA 10/PDX における高温 V 字ターゲット近傍の H $\alpha$  線強度空間分布測定,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-063.
  66. 岩元美樹, 中嶋洋輔, 松浦寛人, 武田寿人, 市村和也, 細井克洋, 細田甚成, 清水啓太, 大木健輔, 野原 涼, 吉川基輝, 坂本瑞樹, 今井 剛, 市村 真,  
GAMMA10/PDX ダイバータ模擬実験モジュールにおける中性ガス入射時の熱流計測,

- 第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-064.
67. 吉川基輝, 坂本瑞樹, 大木健輔, 吉川正志, 中嶋洋輔, 市村真, 今井剛, 水口正紀, 長塚優, 古舘謙一, 野原涼, 野尻訓平, 寺門明紘, 金史良,  
GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬プラズマへのガス入射時における 静電プローブを用いたイオン温度評価,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-065.
68. 大木健輔, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, 長塚優, 吉川基輝, 野原涼, 野尻訓平, 寺門明紘, 金史良, 水口正紀, 古舘謙一, 細井克洋, 武田寿人, 市村和也, 岩元美樹, 細田甚成, 吉川正志, 今井剛, 市村真,  
GAMMA10/PDX のダイバータ模擬実験モジュールにおけるガス導入時の電子温度・密度分布計測,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-066.
69. 武田寿人, 中嶋洋輔, 畑山明聖, 細井克洋, 市村和也, 岩元美樹, 細田甚成, 清水啓太, 大木健介, 坂本瑞樹, 今井 剛, 市村 真,  
GAMMA10 エンド部端損失プラズマの数値解析,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 19-067.
70. Mizuki Sakamoto, Xingwei Zheng, Jiansheng Hu, Jiangang Li,  
EAST における長時間放電時の水素リサイクリング特性,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 20-018.
71. 田中宏彦, 大野哲靖, 桑原竜弥, 裏川杜彦, 小林政弘, 河村学思, Feng Yuhe,  
直線型ダイバータプラズマへの EMC3-EIRENE コードの適用,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 20-019.
72. 王小龍, 小波蔵純子, 吉川正志, 嶋頼子, 中嶋洋輔, 坂本瑞樹, 大木健輔, 今井剛, 市村真, 間瀬享,  
GAMMA 10/PDX ダイバータモジュール中一次元ホーンアンテナミキサアレイを用いた通倍干渉計システムの開発,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 20-041.
73. 吉川正志, 長洲和英, 島村侑希, 安原亮, 嶋頼子, 小波蔵純子, 北川和, 森下雅央, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, 今井剛, 山田一博, 舟場久芳, 南貴司, 市村真,  
YAG トムソン散乱計測による GAMMA10 プラズマの電子温度・密度計測,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 20-043.
74. 森川裕亮, 吉川正志, 小波蔵純子, 嶋頼子, 磯将貴, 菅野傑, 白石智洋, 坂本瑞樹, 今井剛, 市村真,  
ブラウンホーファー回折法を用いた GAMMA10 セントラル部における密度揺動計測,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 20-044.
75. 徳沢季彦, 山本晃司, 谷正彦, 萩行正憲, 角屋豊, 小波蔵純子, 吉川正志, 出射浩, 西浦正樹,  
テラヘルツ波を用いた定常核融合炉心プラズマ計測,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 20-047.
76. 窪田遼人, 片沼伊佐夫, 小田弦之介,  
低密度プラズマにおけるフルート不安定性の粒子シミュレーション,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 20-120.
77. 小田弦之介, 角田昌輝, 片沼伊佐夫,  
二流体不安定性および GAMMA10 エンドロスに関する計算機シミュレーション,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 20-121.
78. 竹野裕正, 桂友泰, 東郷裕介, 八坂保能, 市村和也, 中嶋洋輔,  
エネルギー変換器における変調効果の時間変化解析,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 20-130.
79. 中西秀哉, 山中顕次郎, 小関隆久, 中島徳嘉, 山本孝志, 江本雅彦, 大津英雄, 漆谷重雄,  
ITER 遠隔実験センターに向けた高速データ転送技術の検証,  
第10回核融合エネルギー連合講演会, (つくば国際会議場, 2014.6.19-2014.6.20) 20-134.
80. 中嶋洋輔,  
GAMMA 10/PDX における最近の成果,  
プラズマ研究センターシンポジウム・PWI 合同研究会, (筑波大学大学会館, 2014.7.31-2014.8.1).
81. 坂本瑞樹,  
国内国外直線・照射装置 研究の展開,  
プラズマ研究センターシンポジウム・PWI 合同研究会, (筑波大学大学会館, 2014.7.31-2014.8.1).
82. 野尻訓平, 坂本瑞樹, 大木健輔, 吉川正志, 中嶋洋輔, 吉川基輝, 寺門明紘, 野原涼, 水口正紀, 今井剛, 市村真,  
Relation Between Electron density and Temperature of Divertor Simulation Plasma and Upstream Plasma in GAMMA 10/PDX,  
第53回プラズマ若手夏の学校, (下呂, 2014.9.2-2014.9.5) P15.
83. 寺門 明紘, 坂本 瑞樹, 大木 健輔, 吉川 基輝, 野原 涼, 野尻 訓平, 中嶋 洋輔, 水口 正紀, 市村 真,  
Spatial distribution of H $\alpha$  line intensity in front of the V-shaped target in GAMMA 10/PDX,  
第53回プラズマ若手夏の学校, (下呂, 2014.9.2-2014.9.5) P9.
84. M. Sakamoto and the GAMMA 10/PDX Group,

- GAMMA 10/PDX における水素リサイクリング研究 Study on Hydrogen Recycling in GAMMA 10/PDX, 第9回クエスト研究会, (九州大学, 2014.9.11-2014.9.12).
85. 吉川正志, 王 小龍, 森下雅央, 嶋 頼子, 千勝雅之, 小波蔵純子, 南 龍太郎, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, 今井 剛, 市村 真, 安原 亮, 山田一博, 舟場久芳, 南 貴司,  
タンデムミラーGAMMA10 におけるトムソン散乱計測システムの進展,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 18aC2-5.
  86. 加藤敬輝, 假家 強, 今井 剛, 南龍太郎, 沼倉友晴, 上原 真, 津村康平, 後藤礼於奈, 市村 真,  
GAMMA10/PDX における ECRH 印加時の端損失電子流束計測,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 18PB-003.
  87. 沼倉友晴, 今井 剛, 假家 強, 南 龍太郎, 加藤敬輝, 上原 真, 後藤礼於奈, 津村康平, 市村 真,  
マルチ周波数共振ジャイロトロンのための計算コード開発,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 18PB-010.
  88. 竹野裕正, 濱邊真輝, 中本 聡, 八坂保能, 市村和也, 中嶋洋輔,  
カスプ型直接エネルギー変換器における高周波印加による電荷分離の変化,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 18PB-031.
  89. 池添竜也, 岡田拓也, 市村 真, 平田真史, 横山拓郎, 岩本嘉章, 隅田脩平, 竹山紘平, ジャンソウオン,  
吉川正志, 小波蔵純子, 嶋 頼子,  
GAMMA 10 セントラル部における ICRF 波動間の非線形結合,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 18PB-081.
  90. 小林進二, 水内 亨, 長崎百伸, 岡田浩之, 南 貴司, 門信一郎, 山本 聡, 大島慎介, 中村祐司, 中嶋洋輔,  
横山雅之, 村上定義, 渡邊清政, 關 良輔, ZANG Linge, 釧持尚輝, 大谷芳明, 原田伴蒼, 桐本充晃,  
Lu Xiangxun, 西川幸佑, 木島 滋, 佐野史道,  
ヘリオトロンJにおける高密度プラズマ実験,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 19pE-4.
  91. 市村和也, 中嶋洋輔, 武田寿人, 岩元美樹, 細田甚成, 清水啓太, 福井良磨, 平田真史, 池添竜也, 横山拓郎,  
隅田脩平, 大木健輔, 吉川正志, 坂本瑞樹, 今井 剛, 市村 真,  
GAMMA10/PDX アンカー部加熱実験におけるエンド部ブラックス挙動の計測と数値計算による解析,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 19PA-011.
  92. 大木健輔, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, 吉川基輝, 野原 涼, 野尻訓平, 寺門明紘, 水口正紀, 市村和也, 武田寿人,  
岩元美樹, 細田甚成, 清水啓太, 吉川正志, 小波蔵純子, 今井 剛, 市村 真,  
GAMMA10/PDX のダイバータ模擬実験モジュールにおけるデータタッチメント実験時の電子温度・密度分布,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 19PA-025.
  93. 寺門明紘, 坂本瑞樹, 大木健輔, 吉川基輝, 野原 涼, 野尻訓平, 水口正紀, 細田甚成, 清水啓太, 中嶋洋輔,  
今井 剛, 市村 真,  
GAMMA10/PDX におけるダイバータ模擬プラズマの H $\alpha$  線強度空間分布測定,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 19PA-030.
  94. 坂本瑞樹, 大木健輔, 吉川基輝, 寺門明紘, 野原涼, 野尻訓平, 水口正紀, 中嶋洋輔, 福本正勝, 市村和也,  
細田甚成, 清水啓太, 小波蔵純子, 吉川正志, 今井剛, 市村真,  
GAMMA 10/PDX におけるエンド領域を活用した水素リサイクリング研究,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 20pC-2-1.
  95. 中嶋洋輔, 市村和也, 武田寿人, 岩元美樹, 細田甚成, 清水啓太, 大木健輔, 坂本瑞樹, 大野哲靖, 門 信一郎,  
澤田圭司, 庄司 主, 畑山明聖, 福本正勝, 久保 博孝, 片沼伊佐夫, 假家強, 小波蔵純子, 沼倉友晴,  
平田真史, 南 龍太郎, 吉川正志, 池添竜也, 吉川基輝, 寺門明紘, 福井良磨, 大川和夫, 今井 剛, 市村 真,  
GAMMA 10/PDX エンド部における非接触プラズマ形成とその特性評価,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 20pC2-2.
  96. 隅田脩平, 市村 真, 横山拓郎, 平田真史, 池添竜也, 岩本嘉章, 岡田拓也, 竹山紘平, ジャンソウオン,  
大井健生, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔, 吉川正志, 南龍太郎, 水口正紀, 市村和也, 福山 淳,  
GAMMA10/PDX におけるアンカー部高周波加熱とセントラル部密度揺動との相関,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 20PA-050.
  97. 横山拓郎, 市村 真, 福山 淳, 隅田脩平, 平田真史, 池添竜也, 岩本 嘉章, 岡田拓也, 竹山紘平, ジャンソウオン,  
3次元波動コードを用いた GAMMA 10 極小磁場配位における ICRF 波動解析,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 20PA-052.
  98. 岡田拓也, 池添竜也, 市村真, 平田真史, 横山拓郎, 岩本嘉章, 隅田脩平, 竹山紘平, ジャンソウオン,  
大井健生, 吉川正志, 小波蔵純子, 嶋頼子,  
GAMMA 10 における反射計を用いた ICRF 波動伝搬計測,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 20PB-092.
  99. 出射 浩, 假家 強, 今井 剛, K. Mishra, 渡辺 理, 関子秀樹, 花田和明, QUEST チーム,  
QUEST 装置におけるミリ波・マイクロ波帯電子サイクロトロン波を用いた完全非誘導電流駆動,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21aE-1.



100. 坂本慶司, 假家強, 小田靖久, 南龍太郎, 池田亮介, 梶原健, 小林貴之, 高橋幸司, 森山伸一, 今井剛,  
原型炉用電子サイクロトロン加熱電流駆動システムに向けた大電力サブテラヘルツジャイロトロンの  
研究,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21aE-6.
101. 上原 真, 今井 剛, 沼倉友晴, 南龍太郎, 假家 強, 加藤敬輝, 津村康平, 後藤玲於奈, 市村 真, 坂本  
瑞樹, 中嶋洋輔, 吉川正志,  
GAMMA10/PDX におけるセントラル部 ECH アンテナによる加熱特性の研究,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-002.
102. 假家 強, 今井 剛, 南 龍太郎, 加藤敬輝, 坂本慶司, 出射 浩, 冨子秀樹, 花田和明, 小野雅之, 江口  
濯, 満仲義加, 沼倉友晴, 市村 真,  
Status of Collaborative Gyrotron developments in University of Tsukuba,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-003.
103. 福本正勝, 市村和也, 中嶋洋輔, 武田寿人, 岩元美樹, 細田甚成, 坂本瑞樹, 久保博孝, 庄司 主,  
GAMMA 10 ダイバータ模擬実験モジュール内の水素ガスの絶対圧力測定と V 字ターゲットへの熱粒子  
負荷低減への影響,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-007.
104. 吉川基輝, 坂本瑞樹, 大木健輔, 吉川正志, 中嶋洋輔, 水口正紀, 市村和也, 野原 涼, 野尻訓平, 寺  
門明紘, 今井 剛, 市村 真,  
GAMMA10/PDX ダイバータ模擬実験における静電プローブを用いたイオン温度計測,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-011.
105. 清水啓太, 中嶋洋輔, 細田甚成, 市村和也, 武田寿人, 岩元美樹, 福井良磨, 大木健輔, 坂本瑞樹, 今  
井 剛, 市村 真,  
GAMMA10/PDX ガス入射実験における非接触プラズマ形成と不純物輸送の影響,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-012.
106. 岩元美樹, 中嶋洋輔, 松浦寛人, 武田寿人, 市村和也, 細田甚成, 清水啓太, 福井良磨, 大木健輔, 野  
原 涼, 吉川基輝, 坂本瑞樹, 今井 剛, 市村 真,  
GAMMA10/PDX 不純物ガス入射実験におけるプラズマへの追加加熱が熱流に与える影響,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-017.
107. 野尻訓平, 坂本瑞樹, 大木健輔, 吉川正志, 中嶋洋輔, 吉川基輝, 寺門明紘, 野原 涼, 水口正紀, 今  
井 剛, 市村 真,  
GAMMA10/PDX における加熱及びガス入射がダイバータ模擬プラズマへ及ぼす影響,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-018.
108. 細田甚成, 中嶋洋輔, 清水啓太, 市村和也, 武田寿人, 岩元美樹, 福井良磨, 吉川正志, 大木健輔, 坂  
本瑞樹, 吉川基輝, 野原 涼, 寺門明紘, 今井 剛, 市村 真,  
GAMMA 10/PDX エンド部におけるガス入射実験時の非接触プラズマの空間分布計測,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-021.
109. 武田寿人, 中嶋洋輔, 畑山明聖, 市村和也, 岩元美樹, 細田甚成, 清水啓太, 福井良磨, 大木健輔, 坂  
本瑞樹, 今井 剛, 市村 真,  
多流体コードを用いた GAMMA10/PDX 背景プラズマの数値解析,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-032.
110. 裏川杜彦, 大野哲靖, 中嶋洋輔, 庄司 主,  
直線型装置 NAGDIS-II に設置された閉ダイバータモジュール内の中性粒子分布解析,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-033.
111. 坂本瑞樹, 渡辺英雄, 時谷政行,  
照射損傷タングステンの水素同位体吸蔵に関する考察,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PA-036.
112. 王 小龍, 菅野 傑, 小波蔵純子, 吉川正志, 嶋 頼子, 中嶋洋輔, 坂本瑞樹, 大木健輔, 今井 剛, 市村  
真, 長山好夫, 桑原大介, 間瀬 淳,  
プラズマ診断のための IQ 変調復調システムのシミュレーション,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PB-082.
113. 呂 湘濤, 小林進二, 原田伴登, 水内 亨, 長崎百伸, 門 信一郎, 岡田浩之, 南 貴司, 大島慎介, 山本  
聡, 臧 臨閣, 中嶋洋輔, 佐竹真介, 渡邊清政, 關 良輔, 釦持尚輝, 大谷芳明, 桐本充晃, 程 崧明,  
鈴木文子, 安枝樹生, 中野裕一郎, 小田大輔, 松田啓嗣,  
Heliotron J 高密度 NBI プラズマにおけるイオン温度の密度依存性,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PB-089.
114. 野原涼, 坂本瑞樹, 大木健輔, 吉川基輝, 寺門明紘, 野尻訓平, 菅野傑, 小波蔵純子, 吉川正志, 中嶋洋輔,  
今井剛, 市村真,  
GAMMA 10/PDX でのダイバータ模擬実験における Hel 線強度比法を用いた電子温度・電子密度計測,  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PB-117PD.
115. 小波蔵純子, 菅野 傑, 吉川正志, 王 小龍, 嶋 頼子, 千勝雅之, 大木健輔, 野原涼, 坂本瑞樹, 中嶋洋輔,  
今井剛, 市村真, 桑原大介, 長山好夫, 間瀬 淳,

- GAMMA 10/PDX ダイバータ模擬実験のためのマイクロ波イメージング干渉計システムの構築  
Plasma Conference 2014, (朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-2014.11.21) 21PB-120PD.
116. 濱邊真輝, 富田裕, 竹野裕正, 八坂保能, 市村和也, 中嶋洋輔,  
カスプ型直接エネルギー変換器における高周波電界印加時の粒子束信号の解析に関する研究,  
平成 26 年電気関係学会関西支部連合大会, (奈良先端科学技術大学院大学, 2014.11.23-2014.11.24) G5-1.
  117. 渡邊琢也, 富田裕, 竹野裕正, 八坂保能, 市村和也, 中嶋洋輔,  
永久磁石を用いたカスプ型直接エネルギー変換器での高エネルギープラズマの電荷分離の数値計算,  
平成 26 年電気関係学会関西支部連合大会, (奈良先端科学技術大学院大学, 2014.11.23-2014.11.24) G5-2.
  118. 桂友泰, 東郷裕介, 竹野裕正, 八坂保能,  
進行波型直接エネルギー変換の模擬実験におけるエネルギー分布の多時点同時計測器の開発,  
平成 26 年電気関係学会関西支部連合大会, (奈良先端科学技術大学院大学, 2014.11.23-2014.11.24) G5-3.
  119. 森下雅央,  
GAMMA10/PDX セントラル部における H $\alpha$  線放射分布計測,  
平成 26 年度研究会「プラズマ分光と素過程研究の深化と展開」, (核融合科学研究所, 2015.1.29-2015.1.30).
  120. 清水啓太,  
GAMMA 10/PDX エンド部ガス入射による非接触プラズマ形成と不純物輸送実験時の分光計測,  
NIFS 共同研究研究会「分光研究会」, (核融合科学研究所, 2015.1.29-2015.1.30).
  121. 中嶋洋輔,  
ミラー閉じ込め装置を基盤とした中性子源の研究,  
NIFS 共同研究研究会「放射性核種消滅処理への核融合応用に関する研究」, (核融合科学研究所,  
2015.2.17).
  122. 池添竜也, 市村 真, 岡田拓也, 竹山紘平, 平田真史, 横山拓郎, 岩本嘉章, 隅田脩平, ジャンソウオン,  
吉川正志, 小波蔵純子, 嶋頼子,  
GAMMA 10 セントラル部における ICRF 波動間の結合に関する解析,  
第 4 回 ICRF 加熱研究会「ICRF 加熱装置の高性能化と将来応用」, (核融合科学研究所, 2015.2.17).
  123. 徳沢季彦, 角屋豊, 萩行正憲, 谷正彦, 山本晃司, 小波蔵純子, 吉川正志, 西浦正樹, 田中謙治, 山田一博,  
川端一男, 江尻晶, 出射浩, 岡島茂樹, 中山和也,  
テラヘルツ波を用いた高温プラズマ計測法の開発,  
光・ミリ波・マイクロ波を用いた計測技術・解析モデルの開発とその応用に関する研究集会, (核融合科学  
研究所, 2015.2.26-2015.2.27).
  124. 市村和也, 森川祐介,  
GAMMA 10/PDX 端損失粒子束の分析とダイバータ模擬実験,  
第 18 回若手科学者によるプラズマ研究会, (日本原子力研究開発機構, 2015.3.4-2015.3.6).
  125. 岡田拓也, 竹山紘平,  
高周波加熱制御に向けたマイクロ波反射計による GAMMA10 プラズマ内部領域の密度揺動計測,  
第 18 回若手科学者によるプラズマ研究会, (日本原子力研究開発機構, 2015.3.4-2015.3.6).
  126. 隅田脩平, ジャンソウオン,  
GAMMA 10/PDX における ICRF 加熱によるダイバータ模擬実験に向けたプラズマ制御,  
第 18 回若手科学者によるプラズマ研究会, (日本原子力研究開発機構, 2015.3.4-2015.3.6).
  127. 松浦寛人, 陳健, 長壁正樹, 永岡賢一,  
大型ヘリカル装置用中性粒子ビームアーマータイルの熱負荷解析,  
原子力学会 2015 年春の年会, (茨城大学, 2015.3.20-2015.3.22).
  128. 松浦寛人, 陳健, 門信一郎, 岩元美樹, 中嶋洋輔,  
熱流束計測におけるプローブ表面反応の影響とその応用,  
物理学会第 70 回年次大会, (早稲田大学, 2015.3.21-2015.3.24).

#### <解説・紀要等>

01. T. Mutoh, K. Saito, T. Seki, H. Kasahara, R. Seki, T. Tokuzawa, N. Yanagi, T. Watanabe, T. Ozaki, Y. Takase, A. Ejiri, T. Shinya, S. Kamio, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Yokoyama, Y. Saito, H. Okada, S. Murakami,  
Development and Reactor Application of ICRF Heating Device,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 160.
02. Yoshikawa, M., Nagasu, K., Shimamura, Y., Kohagura, J., Shima, Y., Imai, T., Sakamoto, M., Nakashima, Y.,  
Minami, T., Yasuhara, R., Kawahata, K., Yamada, I., Funaba, H.,  
Development of the Multi-pass Thomson Scattering System in the GAMMA 10 Tandem Mirror,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 244.
03. Yoshikawa, M., Sugiyama, A., Washo, Y., Katanuma, I., Shima, Y., Nakashima, Y., Nakanishi, H., Ohshima, M.,  
Kojima, M., Nagayama, Y.,  
Data Transfer and Direct Data Acquisition from GAMMA 10/PDX to LHD Virtual Laboratory via SNET,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 488.

04. M. Ichimura, GAMMA 10/PDX Group,  
Studies of the Divertor-Simulating Boundary Plasma and Transport Control in Making Use of Open End Magnetic Field and Effects of Electric Potential and Field,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 500.
05. M. Yoshikawa, K. Nagasu, Y. Shimamura, Y. Shima, J. Kohagura, M. Sakamoto, T. Imai, M. Ichimura, Y. Nakashima, T. Minami, K. Kawahata, I. Yamada, H. Funaba,  
Electron Temperature and Density Measurements by Using the Thomson Scattering System in GAMMA 10,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 501.
06. Y. Hirooka, H. Zhou, Y. Nakashima, M. Sakamoto,  
Effects of Particle Control in the End Region on the Central Plasma Characteristics in GAMMA-10,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 502.
07. S. Shinohara, D. Kuwahara, H. Ishii, N. Teshigahara, H. Fujitsuka, S. Waseda, T. Ishii, S. Otsuka, T. Nakagawa, T. Hada, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Yokoyama,  
Generation and Control of High-Density Flow in Open System Plasma,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 503.
08. M. Fukumoto, H. Kubo, Y. Nakashima, M. Sakamoto,  
Effects of Neutrals on Decrease in Heat and Particle Loads on the V-shaped Target in GAMMA 10,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 504.
09. H. Matsuura, Y. Nakashima, M. Sakamoto, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, M. Iwamoto, Y. Hosoda, K. Nagata, M. Shoji,  
Experimental Study on Heat Flux of Divertor Plasma (Measurement of Sheath Heat Flux on the Surface of GAMMA 10 Divertor Plates),  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 505.
10. Tanaka, H., Sakamoto, M., Furutachi, K., Kin, F., Oki, K., Mizuguchi, M., Nagatsuka, Y., Yoshikawa, M., Nohara, R., Yoshikawa, M., Ohno, N., Tsuji, Y.,  
Statistical Analysis of Core and Edge Plasma Fluctuations in the GAMMA 10,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 506.
11. A. Fukuyama, T. Yokoyama, M. Ichimura, R. Ikezoe,  
Wave Excitation in the Anchor Cell of GAMMA 10 with Nonaxisymmetric Configuration,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 507.
12. Y. Nakashima, T. Imai, M. Ichimura, R. Ikezoe, K. Oki, M. Sakamoto, I. Katanuma, M. Yoshikawa, T. Kariya, J. Kohagura, T. Numakura, M. Hirata, R. Minami, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, S. Kigure, S. Takahashi, M. Iwamoto, Y. Hosoda et al.,  
Study of Divertor Simulation Using End-region of a Tandem Mirror - Mechanisms of Radiation Cooling Divertor and Plasma Detachment -,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 508.
13. Kuwabara, D., Nagayama, Y., Tsuchiya, H., Yoshikawa, M., Kohagura, J., Morikawa, Y., Hasegawa, Y., Mase, A., Ito, N., Kogi, Y.,  
Development of 1-Dimensional Antenna Array for Microwave Imaging Interferometer in GAMMA 10 Diverter Simulation Experiments,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 509.
14. Kogi, Y., Higashi, T., Yoshikawa, M., Kohagura, J., Morikawa, Y., Hasegawa, Y., Shima, Y., Mase, A., Nagayama, Y.,  
Application of Digitally Controlled Millimeter-wave Interferometer to GAMMA10 Central Cell Plasma for Precise Density Distribution Measurement,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 510.
15. Y. Ueda, Y. Hamaji, M. Oya, H.T. Lee, M. Sakamoto, Y. Nakashima, H. Zushi, Y. Hatano, H. Kurishita, T. Mizuuchi, N. Asakura, T. Nakano, T. Hino, Y. Yamauchi, N. Ohno, S. Kajita, M. Nagata, Y. Kikuchi, A. Tonegawa, S. Kado, K. Ohya  
Behavior of Wall Material Impurities Released to Magnetized Plasma and its Effects on Plasma properties,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 512.
16. S. Nagata, T. Yaegashi, Y. Ishikawa, M. Zhao, T. Shikama, Y. Nakashima, M. Sakamoto, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, M. Iwamoto, Y. Hosoda,  
Surface Analysis of Nuclear Fusion Materials Irradiated by GAMMA 10 Plasma,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 513.
17. H. Takeno, Y. Yasaka, J. Miyazawa, Y. Nakashima, I. Katanuma,  
New Structure of Cusp-type Direct Energy Converter Using Permanent Magnets,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 514.
18. Tokuzawa, T., Nagayama, Y., Yoshikawa, M., Kohagura, J., Shima, Y., Mase, A.,  
Development of Advanced Microwave Diagnostics for Future Fusion Plasma Reactor and Time-Domain Spectroscopy Application to High-Temperature Plasma Measurements,

- Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 515.
19. S. Kobayashi, T. Mizuuchi, H. Okada, N. Kemmochi, T. Harada, M. Kitimoto, N. Nishino, Y. Nakashima, M. Sakamoto, M. Yoshikawa, J. Kohagura, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, S. Kigure, S. Takahashi, M. Iwamoto, Y. Hosoda, M. Shoji,  
Optimization of Fueling in Magnetically Confined Plasmas ~ Analysis of Neutral Behavior and Optimization of Particle Fueling in Open Magnetic Field Plasmas ~,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 516.
  20. M. Sakamoto, K. Oki, Y. Nagatsuka, M. Yoshikawa, R. Nohara, A. Terakado, K. Nojiri, Y. Nakashima, M. Ichimura, T. Imai,  
Study on Hydrogen Recycling and Plasma-Wall Interaction in GAMMA 10/PDX,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 517.
  21. A. Ando, K. Suzuki, Y. Kobayashi, K. Takahashi, M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Yokoyama,  
Plasma Flow Measurement at Peripheral Region of the Central Cell during ICRH in GAMMA 10,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 518.
  22. N. Ohno, M. Urakawa, S. Kajita, M. Takagi, Y. Nakashima, M. Sakamoto, H. Takeda, K. Ichimura, M. Iwamoto, Y. Hosoda, K. Shimizu et al.,  
Study of 3D Structure of Detached Recombining Plasmas,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 519.
  23. M. Ichimura, R. Ikezoe, T. Mutoh, T. Seki, K. Saito, H. Kasahara, T. Watanabe,  
Spontaneously Excited ICRF Waves and Axial Energy Transport on GAMMA 10,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 520.
  24. Y. Nakashima, M. Yoshikawa, J. Kohagura, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, S. Kigure, S. Takahashi, M. Iwamoto, Y. Hosoda, S. Kobayashi, T. Mizuuchi et al.,  
Optimization of Fueling in Magnetically Confined Plasmas (Fueling Optimization Using Ha/Da Line emission Measurements in Heliotron J),  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 529.
  25. H. Zushi, K. Hanada, M. Sakamoto, Y. Nakashima et al.,  
Non-inductive Current Drive and Particle Recycling Study in Steady State Divertor Configuration in QUEST,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 562.
  26. Nakanishi, H., Ohsuna, M., Kojima, M., Ito, Y., Imazu, S., Nonomura, M., Yamamoto, T., Emoto, M., Nagayama, Y., Nakamura, K., Ida, K., Hasegawa, M., Higashijima, A., Nakamura, K., Yoshikawa, M., Sugiyama, A., Washo, Y.,  
Progress of the Remote Data Acquisition and Sharing in "Fusion Virtual Laboratory (FVL)" Based on 10 Gbps SINET4,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 573.
  27. K. Hanada, N. Yoshida, *et al.*,  
Power Balance Estimation Using Water Temperature Increment of Plasma Facing Component and Steady State Operation,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 578.
  28. Y. Nakashima, M. Sakamoto, M. Hirata, K. Hosoi, H. Takeda, K. Ichimura, M. Iwamoto, Y. Hosoda et al.,  
Surface Analysis of Effect of Plasma Irradiation to Nuclear Fusion Materials,  
Annual Report of National Institute for Fusion Science **April 2013 - March 2014**, (2014) 603.
  29. 中西秀哉  
小特集「社会との連携をめざしたプラズマ・核融合アウトリーチ活動の展開」、5. 「サン・ポール・レ・デュランスの風」への道のり,  
プラズマ・核融合学会誌 **91**, 2 (2015) 115.
  30. 平田久子  
私の算額：海水の重水素で核融合炉を何年運転できるか、  
筑波大学技術報告 No. 35 (2015, 3) 47-50.

## 〈受賞〉

01. 池添竜也  
GAMMA 10における自発励起 ICRF 波動の構造計測と高速イオン損失への影響,  
第 10 回核融合エネルギー連合講演会 若手優秀発表賞 (2014 年 6 月 20 日)
02. ジャンソウオン  
筑波大学理工学群長表彰 (2015 年 3 月 25 日)
03. 竹山紘平  
筑波大学応用理工学類長表彰 (2015 年 3 月 25 日)